

Joonas Niemi

Moottoritekniikan virtausten simulointi

Opinnäytetyö

Syksy 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Joonas Niemi

Työn nimi: Moottoritekniikan virtausten simulointi

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 1

Virtaussimulaatioita käytetään autotekniikan parissa niin autojen aerodynamiikan kuin auton moottorin osien suunnittelussa. Ja simulaatiot ovat yleistyneet tietokoneiden kasvaneen laskentatehon myötä. Toimeksianto tälle opinnäytetyölle annettiin SeAMK Tekniikan yksikön autolaboratoriosta, jossa haluttiin tutkia simulointien hyödynnettävyyttä opetuskäytössä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä moottoritekniikan virtaussimulaatioiden tekemiseen Siemens NX -ohjelmalla, analysoida näiden tuloksia sekä pohtia hyödyntämismahdollisuuksia näille simulaatioille. Lopuksi tavoitteena oli myös laatia käyttöohje yksinkertaisten virtaussimulaatioiden tekemiseen NX:llä.

Työn alussa käydään läpi kaasujen sekä virtausten fysikaalisia ilmiöitä ja käsitteitä. Simulaatio- ja mallintamisosuuksista selviää käytettyjen ohjelmien taustat, simulaatioiden tekemisen vaiheet ja näissä käytetyt mallit sekä ratkaisuvaihtoehdot. Työn lopussa näiden käytettyjen mallien simulaatioiden tuloksia analysoidaan ja pohditaan hyödyntämismahdollisuuksia virtaussimulaatioille sekä laaditaan käyttöohjeet virtaussimulaatioiden tekemiseen NX:llä.

Työ saavutti asetetut tavoitteet ja työn tuotoksena syntyi käyttöohje virtaussimulaatioiden laatimiseen NX:llä, joka löytyy liitteenä tämän työn lopusta.

Avainsanat: simulointi, polttomoottorit, kaasut, virtaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Joonas Niemi

Title of thesis: Flow simulation of engine technology

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2017

Number of pages: 40

Number of appendices: 1

Flow simulations are widely used in automotive engineering due to the increase in computing power of computers, especially in aerodynamics and in designing engine parts. The assignment for this thesis was given by the automotive laboratory at School of Technology of Seinäjoki University of Applied Sciences to study the possibility of using flow simulations for educational purposes.

The goal of the thesis was to get acquainted with flow simulations by using Siemens NX to make flow simulations, to analyse the results of these simulations and to contemplate on how flow simulations could be used.

The beginning of the thesis presented physical theories behind flow simulations and different gases such as air. Simulation and modelling sections covered the models, parameters and result options that were used. At the end of the thesis the results of the simulations were presented, possibilities of utilizing flow simulations were analysed and a user manual on how to make flow simulations in Siemens NX was created.

The goals of the thesis were achieved, and the user manual was produced as the yield of the thesis.

Keywords: simulation, internal combustion engines, flow, gases

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Tausta	9
1.2 Tavoitteet	9
1.3 Prosessi ja rakenne.....	10
2 KAASUJEN PERUSKÄSITTEET	11
2.1 Aineen olomuotojen erot	11
2.2 Kaasun paine ja ideaalikaasu	12
3 VIRTASTEN TEORIATAUSTA	14
3.1 Virtastyytit teknisten sovellusten kannalta.....	14
3.2 Virtastmallit	14
3.3 Jatkuvuusyhtälö	14
3.4 Bernoullin laki ja yhtälö	15
3.5 Virtastlajit	16
4 SOLID EDGE 3D-MALLINTAMINEN.....	18
4.1 Mikä on Siemens Solid Edge?	18
4.2 Mallit.....	19
5 SIEMENS NX JA SIMULOINNIT	21
5.1 Mikä on Siemens NX?.....	21
5.2 FEM	22
5.3 NX Advanced Thermal/Flow -simulaatiot	22
5.4 Imusarja	24
5.5 Kaasuläppä	26
6 SIMULOINTIEN TULOKSET SEKÄ HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET	28

6.1 Imusarjan simulointien tulokset	28
6.2 Kaasuläpän simulointien tulokset	30
6.3 Simulointien hyödyntämismahdollisuudet	32
7 KÄYTTÖOHJEEN LAATIMINEN	34
7.1 Minkälainen on hyvä ohje?	34
7.2 Käyttöohjeen laatiminen virtaussimulaatioiden tekemiseen NX:llä	36
8 YHTEENVETO JA POHDINTAA	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	40

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Kiinteän, nesteen ja kaasun molekyylit	11
Kuvio 2. Kaasun molekyylit paineen kasvaessa	13
Kuvio 3. Kaasutin	16
Kuvio 4. Virtauslajit	17
Kuvio 5. Alkuperäinen ja yksinkertaistettu malli kaasuläpästä.	20
Kuvio 6. 3D-malli imusarjasta.....	20
Kuvio 7. Tulostavaihtoehdot.....	23
Kuvio 8. Virtausvolyymien mallintaminen.....	24
Kuvio 9. Divergointi alipaine raja-arvona.....	25
Kuvio 10. Konvergointi virtausnopeus raja-arvona.....	26
Kuvio 11. TET4-elementtiverkko.	27
Kuvio 12. Alkuperäisen mallin tiheydet sekä nimitykset osille.....	30
Kuvio 13. Kaasuläpän virtausnopeudet venttiili 45 asteen kulmassa.	31
 Taulukko 1. Imusarjan mallien tulokset.....	 28
Taulukko 2. Kaasuläpän mallien tulokset.....	30

Käytetyt termit ja lyhenteet

CAD	Computer aided design eli tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAE	Computer aided engineering eli tietokoneavusteinen laskenta.
CAM	Computer aided manufacturing eli tietokoneavusteinen valmistus.
CFD	Computational flow dynamics eli numeerinen virtausdynamiikka on virtausmekaniikan osa, jolla analysoidaan fluidien käyttäytymistä.
Divergointi	Osittaisdifferentiaaliyhtälössä arvosarjan loitoneminen kohdearvosta eli yhtälön ratkaisusta.
FEM	Finite Element Method eli elementtiverkkolaskentamenetelmä.
Imuputki	Nimitys putkelle, joka johtaa imusarjasta imuventtiileille.
Imusarja	Nimitys putkistorakenteesta, joka jakaa ilman tasaisesti kaikille sylintereille.
Kaasuläppä	Auton moottoriin virtaavan ilman säätömekanismi.
Konvergointi	Osittaisdifferentiaaliyhtälössä arvosarjan läheneminen kohdearvoa eli yhtälön ratkaisua kohti.
OEM	Original equipment manufacturer eli alkuperäisosien valmistaja.
PDE	Partial differential equation eli osittaisdifferentiaaliyhtälö.
Perhosventtiili	Kaasuläpissä käytetty pyöreä levyventtiili.

Plenumkammio	Nimitys imusarjan kokoojakammioille, josta lähtevät imuputket venttiileille.
PLM	Product Lifecycle Management eli tuotteen elinkaaren hallinta.
STEP.	Step. ja stp. ovat tiedostomuotoja joiden avulla voidaan siirtää malleja eri ohjelmasta tai ohjelmaversiosta toiseen.
Virtausrengas	Virtausrengas on imuputkeen plenumkammion sisälle asetettu rengas, jonka tarkoitus on parantaa ilmanvirtausta.
Virtausvolyymi	3D-mallin sisätilasta luotu kaasun tilavuusmalli.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Virtaussimulaatioita käytetään yleisesti autotekniikan parissa autojen aerodynamiikan ja osien suunnittelussa sekä parantelussa. Toimeksianto opinnäytetyölle annettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön autolaboratoriosta, sillä virtausten simulointia ei ole juurikaan tutkittu tai hyödynnetty opetuksessa.

1.2 Tavoitteet

Ensimmäisenä tavoitteena tässä opinnäytetyössä on oppia tekemään virtaussimulaatioita Siemens NX -sovelluksella. Siemens NX:n käyttöä ei juurikaan opeteta Seinäjoen ammattikorkeakoulussa, joten tavoitteena on myös perehtyä Siemens NX:ään, joka on laaja-alaisemmin yritysten käytössä kuin suppeampi Solid Edge, jonka käyttöä Seinäjoen ammattikorkeakoulussa opetetaan. Solid Edgen osaaminen luo kuitenkin hyvän pohjan NX:n käytölle, joka on perusperiaatteiltaan samantyylinen.

Tehtyjen simulointien tuloksia on tarkoitus analysoida ja analyysien ja käyttökokemuksen pohjalta pohtia hyödyntämismahdollisuuksia eri virtaussimulaatioille. Tähän tavoitteeseen liittyen tarkoituksena on perehtyä virtausten ja erityisesti moottoritekniikan ilmanvirtausten teoreettiseen materiaaliin, jolloin virtaussimulaatioiden tulosten tulkinta helpottuu. Teoreettisesta taustasta tehdään myös pienimuotoinen selostus opinnäytetyön alkuosuuteen.

Tavoitteena on myös luoda yksinkertainen ohje simuloinnista NX-sovelluksella moottoritekniikan kursseille. Oletuksena on, että ohje tehdään henkilölle, joka ei ole ennen käyttänyt Siemens NX -sovellusta virtaussimulaatioiden tekemiseen. Tässä ohjeessa kerrotaan vaihe kerrallaan yksinkertaisen simuloinnin luominen ja lyhyesti taustaa kustakin vaiheesta. Ohjeen mallina käytetään joko itse tehtyjä malleja tai yhteistä yksinkertaista mallia. 3D-mallinnusta ei opasteta ohjeessa, sillä Seinäjoen

ammattikorkeakoulussa opetetaan 3D-mallintamista Solid Edgellä, jolla voidaan tehdä itse tarvittavat mallit, jotka voidaan STEP-muodossa hyödyntää NX-sovelluksessa.

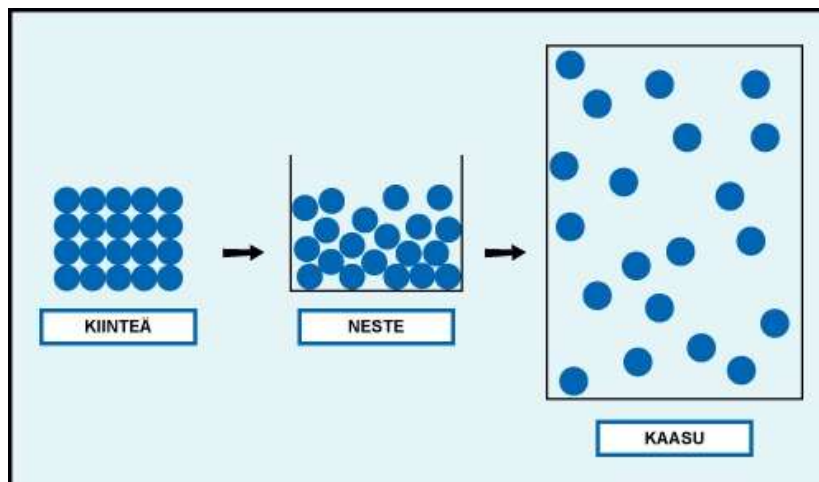
1.3 Prosessi ja rakenne

Opinnäytetyön alussa perehdytään kaasujen sekä virtausten fysikaalisten ilmiöiden peruskäsitteisiin. Teoriassa sivutaan myös nesteiden käsitteitä ja virtauksia, vaikkei tämä opinnäytetyön aihepiiriin kuulukaan, sillä sekä nesteisiin että kaasuihin pätevät yhtäläisesti useat fysiikan lait. Tämän jälkeen tehdään mallinnukset Solid Edge -sovelluksella. Mallintamisosiossa esitellään käytettyjä malleja sekä kohdattuja ongelmia. Mallien avulla sekä harjoitellaan NX:n käyttöä että tehdään tarvittavat simuloinnit. Mallintamisosion jälkeen kerrotaan varsinaisten simulaatioiden tekemisestä. Tämän jälkeen arvioidaan simuloitujen mallien tuloksia ja pohditaan tulosten hyödyntämismahdollisuuksia. Lopuksi valmistetaan helppokäyttöiset ohjeet NX-virtaussimulaatioiden perusteista esimerkiksi moottoritekniikan kurssien opiskelijoille jaettavaksi.

2 KAASUJEN PERUSKÄSITTEET

2.1 Aineen olomuotojen erot

Aineiden eri olomuodot pyrkivät säilyttämään muotonsa ja tilavuutensa eri tavoilla. Kiinteä aine yrittää pitää sekä muotonsa että tilavuutensa, neste pelkän tilavuuden ja kaasu ei pyri säilyttämään kumpaakaan. Kiinteä aine estää aineen osien liikkeen toisiinsa nähden lähes täysin rakenneosien välisten voimien avulla. Nesteessä aineen tilavuuden muuttumisen ja puristuksen pyrkivät estämään sisäiset voimat. Tästä syystä esimerkiksi hydraulikassa käytettäviä nesteitä voidaankin pitää kokoon puristumattomina. Kaasut vastaavasti pyrkivät mahdollisimman suurikokoiseen tilavuuteen ja tämän vuoksi täyttävät säiliönsä kokonaan. Kaasun sisäiset voimat eivät näin ollen vastusta aineen tilavuuden muuttumista, vaan ainoastaan puristumista. Tästä syystä kaasujen tiheydet ovat paljon pienemmät kuin nesteissä. Näin ollen esteiden ja kaasujen mahdollisuus virrata johtuu siitä, että aineiden rakenneosien väliset voimat eivät estä ainekerrosten liukumista toistensa suhteen, kuten kiinteissä aineissa. (Suvanto 2003, 317-318.) Molekyylieroja havainnoi kuvio 1.

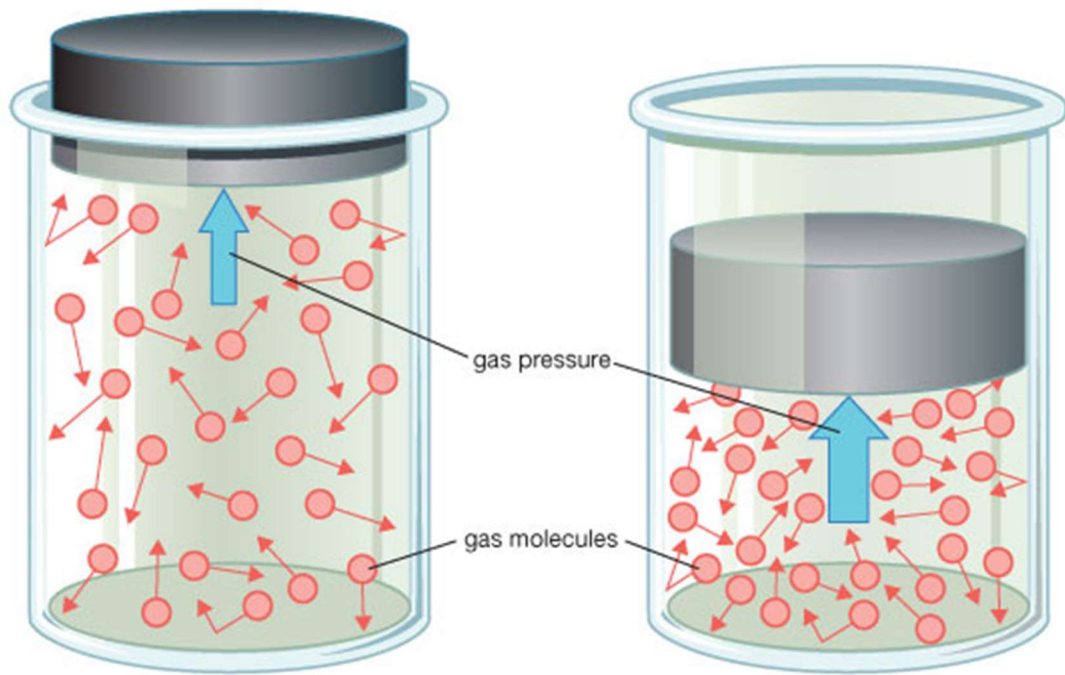


Kuvio 1. Kiinteän, nesteen ja kaasun molekyylit.
(Peda.net, [viitattu 26.11.2017])

2.2 Kaasun paine ja ideaalikaasu

Paineen suuruus määrittää, kuinka suuren voiman kaasu kohdistaa seinämään. Paine ilmaisee siis myös kaasun laajentumisvoimakkuuden säiliössä. Esimerkiksi sylinterissä männän työntyessä sisään paine kasvaa ensin männän edessä, mutta välittömästi paine tasaantuu sylinterissä joka puolella yhtä suureksi. Paineen määrän kasvua havainnoi kuvio 2. Paineita voidaan kuvailla myös yli- ja alipaineena. Paine on ylipainetta, kun absoluuttinen paine ylittää tietyn vertailuarvon. Esimerkiksi auton renkaassa vallitsee ylipaine, kun sen absoluuttinen paine ylittää vertailuarvon eli ilmanpaineen (1 bar). Vastaavasti alipaineisessa tilanteessa absoluuttinen paine on pienempi kuin vertailuarvo. (Suvanto 2003, 318-319.)

Paineita voidaan selittää mekaanisena systeeminä ideaalikaasulla. Ideaalikaasu on malli harvasta kaasusta, joka koostuu jatkuvassa liikkeessä olevista suuresta joukosta molekyylejä, jotka törmäilevät säiliön seinämiin kuten kuviossa 2. Törmäävän molekyylin liikemäärä ennen törmäystä on p_1 ja törmäyksen jälkeen p_2 . Törmäys on täysin kimmoisa ja näin ollen liikemäärät ovat itseisarvoltaan yhtä suuret. Molekyyliin kohdistuu seinämästä impulssi I , joka muuttaa liikemäärän suunnan. Molekyyli kohdistaa seinämään vastakkaissuuntaisen, mutta yhtä suuren impulssin (Newtonin III laki). Tästä voidaan johtaa kokonaisimpulssi laskemalla yhteen kaikki molekyylin seinämään kohdistamat impulssit tietyssä ajassa. Tästä voidaan laskea keskimääräinen seinämään kohdistuva voima jakamalla kokonaisimpulssi tarkastellun aikavälin pituudella ja tästä edelleen johtaa paine jakamalla voima seinämän pinta-alalla. (Suvanto 2003, 322.)



Kuvio 2. Kaasun molekyylit paineen kasvaessa
(Encyclopedia Britannica, [viitattu 26.11.2017]).

Kaasun paine riippuu myös syvyydestä. Esimerkiksi säiliössä paine-erot ovat erittäin pienet kaasujen pienistä tiheyksistä johtuen, mutta paine-erot kasvavat merkittäviksi, kun puhutaan ilmakehästä ja sen kilometreissä mitattavista korkeuseroista. Paine ilmakehässä johtuu pääasiassa ilman painosta ja se on suurimmillaan merenpinnan tasolla eli noin 1 bar. Ylöspäin merenpinnasta liikkuen tiheys pienenee ja esimerkiksi Mount Everestin huipulla vajaan 9 km korkeudessa ilmanpaine on n. 0,3 bar. Paine ei kuitenkaan ilmakehässä ole staattisen kaasun paine ilmakehässä esiintyvistä ilmanvirtauksista johtuen. (Suvanto 2003, 332.)

3 VIRTAUSTEN TEORIATAUSTA

3.1 Virtaustyyppit teknisten sovellusten kannalta

Virtaustyyppejä teknisiä sovelluksia ajatellen on kaksi. Ensimmäinen on tietoisesti luotu virtaus, jota voidaan jonkin verran säädellä. Tällaisessa tapauksessa tavoitteena voi olla aineen siirtäminen esimerkiksi öljyputket ja maakaasuputket, tehonsiirto esimerkiksi suihkumoottorit ja turbiinit, paine-eron saavuttaminen esimerkiksi kaasuttimet ja painepesurit tai lämmönsiirto esimerkiksi moottoreiden nestejäähdytys ja kaukolämpöputkistot. Toisessa virtaustyyppissä ainevirtausta ei tietoisesti luoda. Tällöin virtausten haittoja yritetään joko minimoida, kuten autojen aerodynaamisessa suunnittelussa, tai virtauksia yritetään hyödyntää, kuten esimerkiksi purjehduksessa ja laskuvarjon käytössä. (Suvanto 2003, 353.)

3.2 Virtausmallit

Virtausmalleja käytetään aloittaessa suunnittelemaan esimerkiksi virtauskanavia tai putkistoja. Virtausmallien avulla pystytään löytämään teknisesti parhaat ratkaisut. Näillä voidaan selvittää esimerkiksi, millaisiksi tekniset sovellukset kannattaa valmistaa. Tällöin voidaan esimerkiksi tutkia painehäviöiden suuruutta imusarjassa tai imupumpun tehomäärää. Virtausmallit kehitetään joko perinteisten teorioiden avulla, tuulitunneleissa tai tietokonesimulaatioilla. Varsinkin tietokonesimulaatioiden käyttö on lisääntynyt, sillä tietokoneiden laskentakapasiteetti on kehittynyt jatkuvasti sallien yhä monimutkaisemmat fysikaaliset simuloinnit. (Suvanto 2003, 354.)

3.3 Jatkuvuusyhtälö

Jatkuvuusyhtälön mukaan mitään ainetta ei häviä eikä synny. Tarkasteltaessa esimerkiksi putkiston kahta eri osaa molempien osien läpi kulkeutuu massaltaan sama aine-erä. Jatkuvuusyhtälö voidaan esittää yhtälönä $q_{m1} = q_{m2}$, jossa q_m on

massavirta. Kaasut ja nesteet ovat yleensä kokoon puristumattomia, joten myös tiheys on putkiston kahdessa eri osassa sama $\rho_2 = \rho_1$. Myös tilavuusvirta on eri kohdissa aina sama. Tästä syystä virtauksen nopeus kasvaa kohdissa, joissa poikkileikkaus on pienempi. Ajatellaan vaikka jokea tai ojaa, joka kapenee sillan alla. Näissä kohdissa virtaus on suurempi kuin muualla. (Suvanto 2003, 358.)

3.4 Bernoullin laki ja yhtälö

Bernoullin lain mukaan virtausnopeuden kasvu (kineettinen energia) aiheuttaa paineen laskun (potentiaali energia). Tämän osoittaa Bernoullin yhtälö

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho_2 v_2^2 \quad (1)$$

missä

p on staattinen paine

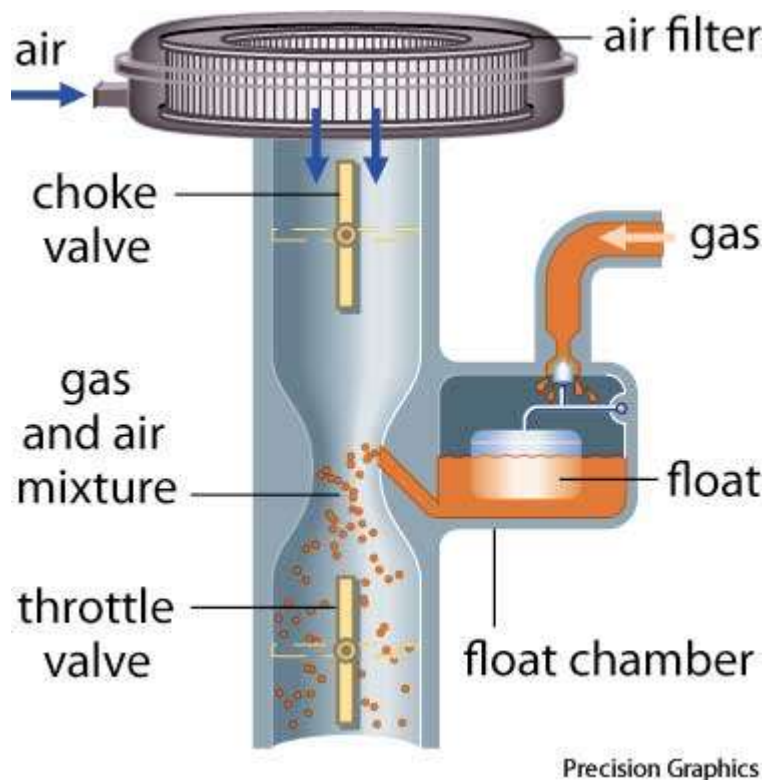
ρ on tiheys

v on nopeus

$_1$ ja $_2$ näiden perässä kuvaavat eri kohtia virtauksessa

Tiheyden voidaan olettaa pysyvän suurin piirtein samana, joten tiheydet p_1 ja p_2 ovat saman suuruiset. Virtauksen kohdassa 2 on kapeampi kohta, jossa virtauksen nopeus kasvaa. Tämä tarkoittaa, että nopeus v_2 on suurempi kuin nopeus v_1 . Jotta vasen ja oikea puoli yhtälöstä pysyisivät samanarvoisina, paineen p_1 täytyy olla suurempi kuin paineen p_2 . Näin ollen suurentunut nopeus kapeassa kohdassa pienentää painetta. (Tracy 13.5.2013.)

Bernoullin lakia hyödynnetään mm. venturiputkessa ja auton kaasuttimessa (kuvio 3.) Kaasutin on yksinkertaisesti sanottuna putki, jossa on kuristettu kohta eli venturi. Virtauksen nopeutuessa syntyy alipaine kuristukseen, johon on sivukammioista johdettu reikä. Kammiossa vallitsee normaali paine, jolloin kammiossa oleva bensiini imeytyy alipaineen myötä ilman sekaan kuristuksessa. Kaasuventtiili säätelee ilmanvirtauksen nopeutta putkessa ja näin ollen samalla alipaineen suuruutta kuristuksessa. (Tracy 13.5.2013.)



Kuvio 3. Kaasutin
(Your Dictionary 2013, [viitattu 26.11.2017]).

3.5 Virtauslajit

Virtausta on sekä laminaarista että turbulenttista. Laminaarisessa virtauksessa aineen elementit eivät keskenään sekoitu, vaan etenevät tasaisesti omilla kerroksissaan. Kerrokset voivat esimerkiksi olla tasomaisia kanavassa tai ympyrän muotoisia putkivirtauksessa. (Suvanto 2003, 355.) Turbulenttisessa virtauksessa taas aine ei etene kerroksittain, vaan sekoittuu ja pirstoutuu. Myös aine-elementtien virtausnopeudet muuttuvat koko ajan. (Suvanto 2003, 377.) Virtausten eroja havainnoidaan kuviossa 4.

Virtausten luonne riippuu Reynoldsin luvusta

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta} \quad (2)$$

missä

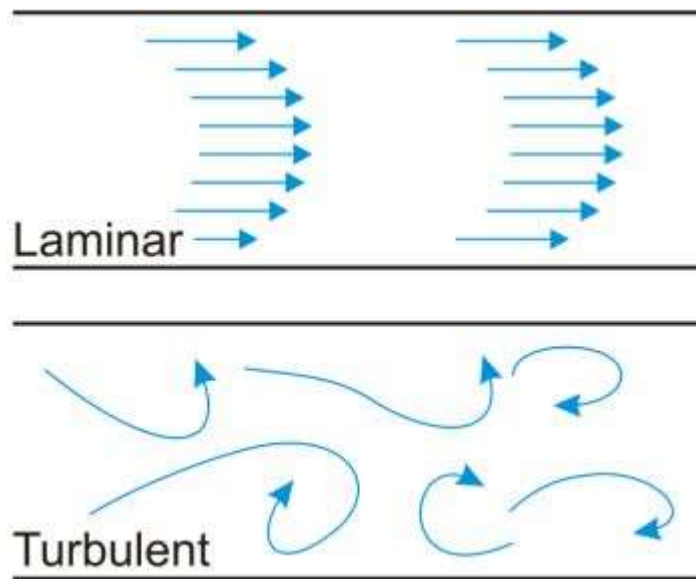
ρ on aineen tiheys

η on aineen viskositeetti

v on keskimääräinen virtausnopeus

D on putken halkaisija.

Likimääräisiä rajoja virtauslajeille ovat: virtaus on laminaarista, jos $N_R < 2000$, virtaus on sekä laminaarista että turbulanttista, jos $2000 < N_R < 3000$, virtaus on turbulanttista, jos $N_R > 3000$. (Suvanto 2003, 378-379.)



Kuvio 4. Virtauslajit
(Cadillac Meter, [viitattu 25.11.2017]).

4 SOLID EDGE 3D-MALLINTAMINEN

4.1 Mikä on Siemens Solid Edge?

Solid Edgeä käytetään Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikössä CAD-kursseilla mallinnuksen harjoitteluun, joten NX:n vähäisen käytön vuoksi Solid Edge oli luonnollisempi valinta opinnäytetyön mallien CAD-mallinnukseen. Tällöin mallintamista ei tarvinnut alkaa opettelemaan aivan alusta NX:llä. Solid Edge on yksinkertaisempi kuin NX, mutta mallinnukset Solid Edgellä hoituvat nopeasti.

Solid Edge sai alkunsa osana Jupiter-ohjelmaa, joka oli seuraavan sukupolven CAD-aloite Intergraph Corporationissa 1990-luvun alkupuolella. Projekti oli kunnianhimoinen ja Solid Edgen ensimmäiset versiot jäivätkin kilpailijansa SolidWorksin varjoon, sillä Solid Edge ilmestyi 6 kuukautta myöhemmin kuin SolidWorks, sekä sovellus yritti olla liian universaali CAD-alusta, jolloin sovelluksesta tuli turhan raskas ja hidas. Solid Edgen pelastukseksi tuli tuotteen sekä tämän koko kehitystiimin myynti EDS Unigraphicsille (nykyinen Siemens PLM.). Samalla kehitystiimi hankkiutui eroon kaikesta ylimääräisestä ohjelmoinnista, joka ei ollut tarpeellinen MCAD (mechanical computer assisted design)-sovellukselle. Ajan kuluessa Solid Edge kehittyi vartenotettavaksi vaihtoehdoksi muille CAD-sovelluksille. Vuonna 2008 Solid Edge esitteli Synchronous technologyn (ST). Tämä teknologia mahdollisti nopeat ja tehokkaat muokkaukset mallinnukseen, mallinnustavan ollessa historiavapaa verrattuna perinteiseen historiapohjaiseen tapaan eli ordered-mallinnukseen. (Yares 14.6.2012.)

Seinäjoen ammattikorkeakoulussa opetetaan lähinnä ordered-mallinnusta, mutta tässä opinnäytetyössä mallinnuksia tehdessä käytettiin sekä ordered- että synchronous-mallinnustapaa. Pääasiassa malleja tehdessä käytettiin kuitenkin synchronous-mallinnustapaa, joka mahdollistaa nopeat muokkaukset malliin.

4.2 Mallit

Tässä työssä käytetyt mallinnukset eivät ole täysin tarkkoja mallinnuksia mistään olemassa olevista moottorin osista, mutta esikuvina malleille käytettiin autolaboratoriolta löytyneitä Saab 900:n imusarjaa sekä VAG-konsernin välijäähdytintä. Olemassa olevien osien käyttö helpotti 3D-mallien mallintamista ja mitoittamista.

Välijäähdytin-mallista jouduttiin lopulta luopumaan, sillä käytettävissä olevien tietokoneiden prosessointiteho oli riittämätön jo pelkkään mallinnukseen Solid Edgellä. Tämä johtui pääasiassa välijäähdyttimen lamellien lukuisista pinnoista, joita ohjelma joutui laskemaan. Esimerkiksi lamelleja monistaessa Pattern-toiminnolla tietokone kaatui viitisen kertaa, ennen kuin monistus onnistui. Tämän jälkeen pelkkä mallin tarkastelu oli tökkivää ja hidasta. Malli saatiin kuitenkin hitailla tietokoneilla niin valmiiksi, että siihen voitiin kokeilla tehdä virtaussimulaatioita NX:llä, mutta tässä vaiheessa jouduttiin luovuttamaan, sillä jo erittäin yksinkertaisen simulaation tekeminen tuntui mahdottomalta kaatuilevan ja tökkivän ohjelman takia. Yhteensä tähänkin malliin kului lukuisia työtunteja. Toiseksi malliksi tämän jälkeen valittiin Saab 900:n imusarjasta tämän kaasuläppä.

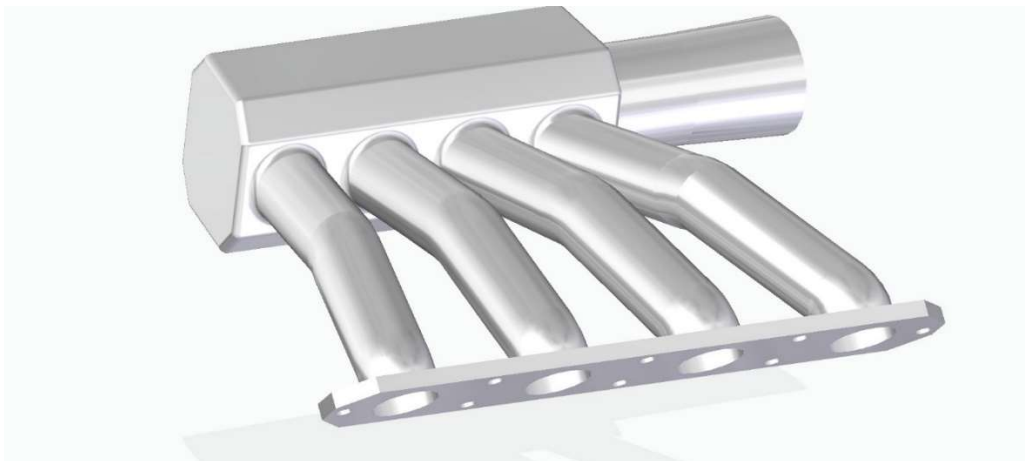
Toimivat mallit tehtiin siis Saabin imusarjasta sekä tämän kaasuläpästä. Näistäkin tehtiin lopulta mahdollisimman yksinkertaisia edellä mainitun tietokoneiden laskentateho-ongelmien vuoksi. Solid Edgellä tehty 3D-malli imusarjasta on kuviossa 6 ja kaasuläpästä kuviossa 5.

Kaasuläpästä tehtiin kokoonpanomalli, josta tallennettiin kolme eri versiota step.-muotoon NX:ään siirtämistä varten. Eroja versioissa on kaasuläpän perhosventtiilin astekulma, jolloin NX:ssä tutkitaan virtausten eroja eri astekulmilla. Kaasuläppää käytetään myös mallina virtaussimulaatioiden käyttöohjeessa. Myös kaasuläppää jouduttiin NX:ssä kohdattujen ongelmien johdosta yksinkertaistamaan, varsinkin putken ulkopintaa ja tyhjäkäynnin ohivirtauskanavaa. Alkuperäinen ja yksinkertaistettu malli ovat kuviossa 5.



Kuvio 5. Alkuperäinen ja yksinkertaistettu malli kaasuläpästä.

Imusarjasta tehtiin kolme eri versiota: kuviossa 6 näkyvä alkuperäinen versio ja tästä kaksi muunnelmää, jossa toisessa on suorat putket ja toisessa lisäksi nämä suorat putket ovat lyhyet. Viimeiseen malliin kokeiltiin luoda myös virtausrenkaat plenumkammion sisälle, mutta näistä luovuttiin NX:ssä kohdattujen ongelmien vuoksi. Suurimpana ongelmana näitä malleja luodessa oli käyrien putkien saaminen mahdollisimman tarkasti esikuvansa kaltaiseksi sekä putkien sisäpintojen mitoitus. Myös kuviossa 6 näkyvä kiinnityslaippa poistettiin ennen NX:ään siirtoa, sillä tämä ei ole olennainen virtaussimulaatioita ajatellen.



Kuvio 6. 3D-malli imusarjasta.

5 SIEMENS NX JA SIMULOINNIT

5.1 Mikä on Siemens NX?

NX on Siemensin monimuotoinen tuotteiden kehitysovellus. Sovellukseen kuuluu useita eri moduuleja, kuten **CAD**, **CAE** ja **CAM**. Eri moduulit on saumattomasti integroitu toisiinsa, joten tiedostojen formaattia ei tarvitse muuttaa moduulista toiseen vaihtaessa. Tuote tunnettiin aiemmin nimillä Unigraphics ja Unigraphics NX, kunnes Siemens hankki tuotetta valmistaneen yrityksen UGS Corporationin vuonna 2007. Tämän jälkeen yhtiö tuli osaksi Siemensiä nimellä UGS PLM Software. (Siemens, [viitattu 18.11.2017].)

NX CAD mahdollistaa 2D- ja 3D-konseptisuunnittelun laajalla työkaluvalikoimalla. Perinteisempien 2D- ja 3D-työkalujen lisäksi NX CAD tarjoaa työkalut putkistosuunnittelulle, teolliselle muotoilulle, sähkömekaaniselle suunnittelulle, tietämyspohjaiselle suunnittelulle sekä ohutlevysuunnittelulle. Näin jokainen suunnitteluvaihe voidaan suorittaa saman integroidun ohjelmiston sisällä. (Ideal PLM, [viitattu 7.10.2017].)

NX CAE tarjoaa elementtimenetelmän (FEM) käytön varsin suurtenkin kokoonpanorakenteiden simulaatioissa ja analyyseissä sekä mahdollistaa näistä saatujen tulosten vertailun testaustulosten suhteen. CAE tarjoaa myös hyvän työnkulun eri laskijoiden ja laskentaryhmien välillä. (Ideal PLM, [viitattu 7.10.2017].) NX CAE:hin kuuluu myös **CFD** eli computational fluid dynamics. Tämä tarkoittaa yhdistettyä matematiikkaa, fysiikkaa ja laskentaohjelmaa, jolla visualisoidaan, kuinka kaasut ja nesteet virtaavat ja kuinka nämä vaikuttavat objekteihin, joiden ohitse ne virtaavat. (Rouse 5.2014.) NX CAE oli tässä opinnäytetyössä käytetty moduuli.

NX CAM on Siemensin CAM eli computer-aided manufacturing -ohjelmisto ohjelmointiautomaatioon ja työstökoneiden simulointiin. (Ideal PLM, [viitattu 9.10.2017].)

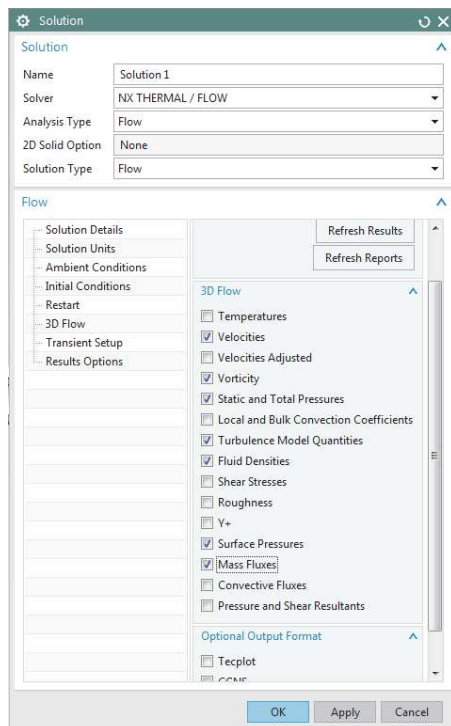
5.2 FEM

Yksi tärkeimmistä käsitteistä simuloinneissa on FEM eli Finite Element Method joka on NX:ssä käytetty laskentametodi. Ymmärtääkseen fysikaalisia ilmiöitä kuten tässä tapauksessa virtauksen käyttäytymistä on välttämätöntä käyttää matematiikkaa. Useimmiten tällaiset ilmiöt on kuvattu käyttäen PDE:itä eli Partial Differential Equationeja, suomeksi osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. Näiden yhtälöiden ratkaisemiseksi tietokoneella on vuosien varrella kehitetty monia tekniikoita, joista tärkein on Finite Element Method. (Harish 2016.)

5.3 NX Advanced Thermal/Flow -simulaatiot

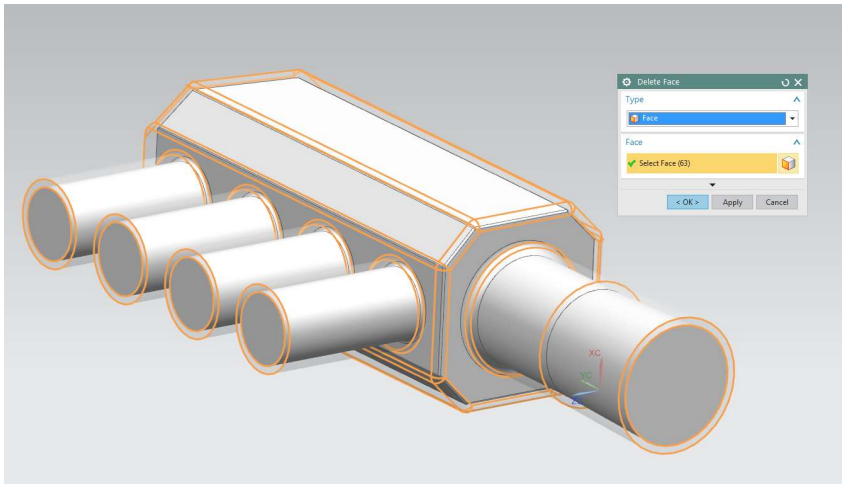
NX:n Advanced simulation solveriksi eli ratkaisimeksi valittiin Thermal/flow ja analyysityypiksi flow.

Tulosvaihtoehdoiksi simulaatioille valittiin virtauksen nopeudet, pyörteily, staattiset ja kokonaispaineet, turbulenssimallien kokonaismäärät, tiheydet, pintapaineet sekä massavirrat. Valitut tulosvaihtoehdot näkyvät kuvista 7. Näistä tarkastellaan tarkemmin tulososiossa staattisia paineita, virtausnopeuksia sekä tiheyksiä. Ratkaisimeen ei tehty muita asetusmuutoksia, turbulenssimalliksi harkittiin K-epsilonia perusasetuksen eli vaihtelevan pituuden tilalle, mutta tulokset eivät muuttuneet merkittävästi tätä käyttäessä, joten kaikki asetukset jätettiin perusasettoon.



Kuvio 7. Tulostavaihtoehdot.

Advanced simulation luo mallitiedostosta sim-, fem- ja idealisoidun osan. Idealisoidussa osassa voidaan muokata mallia sekä tehdä virtausvolyymi kappaleesta. Virtausvolyymi kuvaa tässä tapauksessa ilman tilavuutta mallien sisällä ja tämä saadaan delete face- ja all but selected -komentojen avulla. Virtausvolyymien mallintaminen näillä komennoilla näkyy kuviosta 8. Kuviossa oransseilla viivoilla on merkitty alkuperäisen mallin rajat ja harmaalla on tämän mallin sisäosista saatu virtausvolyymi. Fem-tiedostossa muokataan mallin materiaalia sekä verkotetaan malli elementtilaskentaverkolla. Tämä verkko jakaa mallin pienempiin tarkasteltaviin elementteihin, jotka fem-laskentamenetelmä laskee erikseen. Sim tiedostoon asetetaan raja-arvoja simuloinneille, ratkaistaan malli ja tarkastellaan tuloksia.



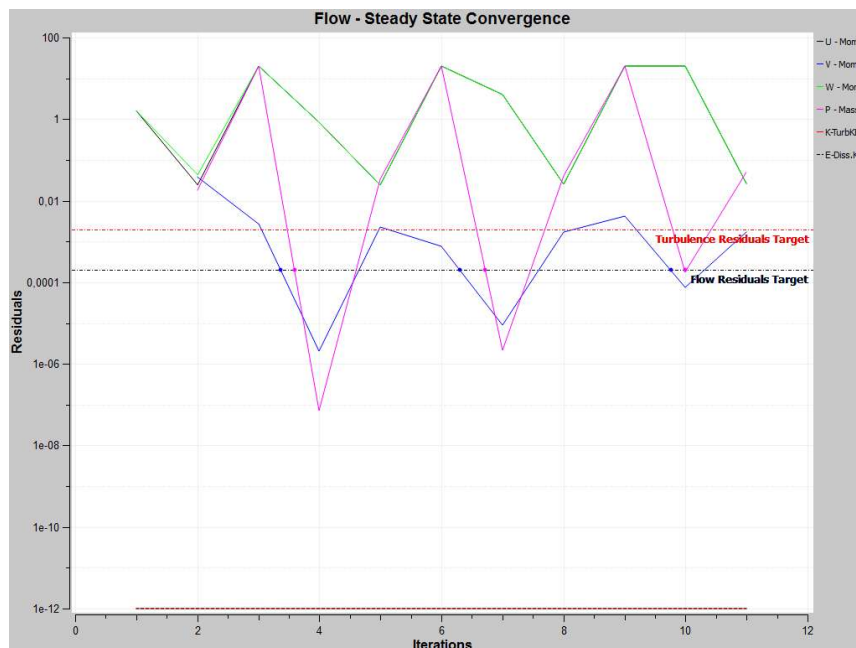
Kuvio 8. Virtausvolyymien mallintaminen.

5.4 Imusarja

Alunperin tavoitteena imusarjan simuloinnille oli tehdä kolme eri versiota imusarjasta, eli ensimmäinen mahdollisimman uskollinen mallinnus esikuvalle, toinen suorilla imuputkilla varustettu malli, ja kolmas lyhyillä suorilla imuputkilla tehty malli. Viimeiseen malliin tehtiin myös virtausrenkaat. Näissä tutkittaisiin eroja simulaatioiden tuloksissa, kuten esimerkiksi virtausnopeuksissa ja paineissa.

Työ aloitettiin ensimmäisestä mallista, joka oli mahdollisimman uskollinen esikuvalleen. Mallin simulaatioita tehdessä päästiin ongelmitta simuloinnin raja-arvojen asettamiseen asti. Tässä kohtaa ongelmia tuli vastaan yritettäessä asettaa imuputkiin raja-arvoksi 0,5 bar alipainetta Outlet flow raja-arvolla ja kaasuläpän kohdalle Opening raja-arvolla ympäristön ilmanpaine eli 1bar. Yritettäessä ratkaista mallia näillä raja-arvoilla ratkaisin divergoi eli ei saanut ratkaistua osittaisdifferentiaaliyhtälöä. Divergointi näkyy kuviossa 9. Kaikkien viivojen tulisi olla kahden Target- eli kohdeviivan alapuolella, jotta yhtälö konvergoisi eli ratkaisin saisi mallin ratkaistua. Tähän yritettiin ratkaisuksi mallin elementtiverkottamista eri tyypillä ja koolla eli vaihdettiin verkkotyyppiä TET10, joka on monikulmaisempi sekä kooksi 1 mm alkuperäisestä 4 millimetristä ja turbulenssimallin vaihtamista K-epsiloniin sekä etsittiin mahdollisuuksia, joilla mallia voisi stabiloida. Myös Outlet flow raja-arvoa yritettiin muuttaa pienentämällä alipainetta. Kaikkien yritysten jälkeen mallia saatiin lähemmäs ratkaisua, mutta tässä kuitenkin lopulta

epäonnistuttiin. Divergoinnin todennäköisenä syynä oli suuri virtauksen turbulenttisuus imusarjan sisällä. Myös raja-arvojen virheellisyys oli mahdollista.



Kuvio 9. Divergointi alipaine raja-arvona.

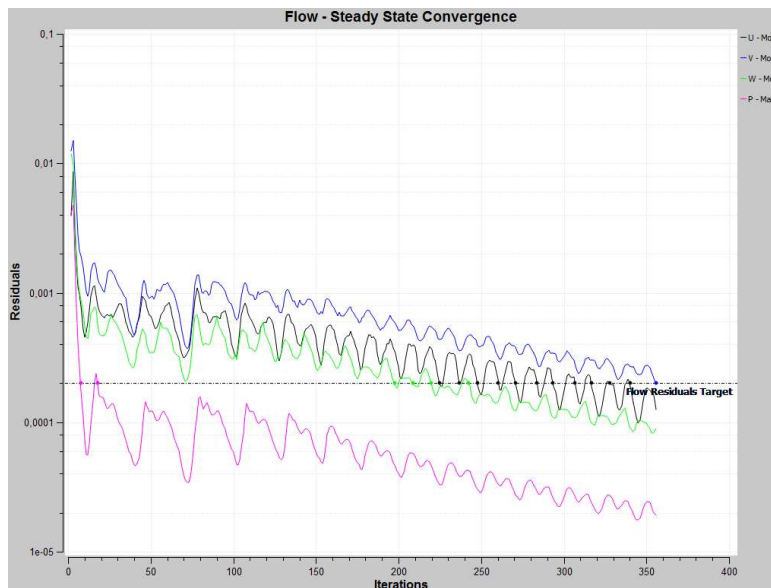
Tämän jälkeen liikuttavaksi raja-arvoksi päätettiin asettaa alipaineen sijaan virtausnopeus. Alun perin tavoitteena oli tehdä realistinen ajan ja alipaineen funktiolla imuventtiileitä simuloiva malli, mutta tästä luovuttiin, sillä tämä olisi ollut vielä vaikeampi, kuin pelkkä jatkuva alipaine raja-arvona, joka myös jouduttiin hylkäämään.

Mallin lopullisiksi ratkaisimen raja-arvoiksi valittiin siis virtausnopeus imuputkissa Outlet flow raja-arvolla sekä ympäristön ilmanpaine kaasuläpän kohdalle Opening raja-arvolla. Virtausnopeuden alkuarvaukseksi valittiin 15 m/s tämän ollessa usein näissä simuloinneissa käytettyjen arvojen keskiarvo. Näiden raja-arvojen avulla mallit saatiin ratkaistua onnistuneesti. Onnistuneen mallin konvergoinnin ja epäonnistuneen mallin divergoinnin erot näkyvät kuvioissa 9 ja 10. Erot viivojen lukumäärässä johtuvat alkuperäisessä mallissa kokeillusta K-epsilon turbulenssimallista.

Näillä käytetyillä raja-arvoilla ei ole kuitenkaan mahdollista tutkia täysin realistisesti imusarjan käyttäytymistä, sillä tällöin yksi tärkeä asia eli venttiilien sulkeutumisen ja avautumisen aiheuttama pulssimainen ilmanvirtauksen liike jää uupumaan

simulaatiosta. Kuitenkin näillä raja-arvoilla voidaan tutkia mallien eroja mm. paineissa ja virtausnopeuksissa. Näiden kolmen simulaation tuloksia sekä eroja esitellään ja analysoidaan tämän työn osiossa 6.1.

Viimeisen mallin virtausrenkaista jouduttiin myös luopumaan. Virtausrenkaat aiheuttivat virtausvolyymien luomisen mahdottomaksi, jolloin nämä jouduttiin poistamaan, sillä näiden muokkaaminenkaan ei auttanut.



Kuvio 10. Konvergointi virtausnopeus raja-arvona.

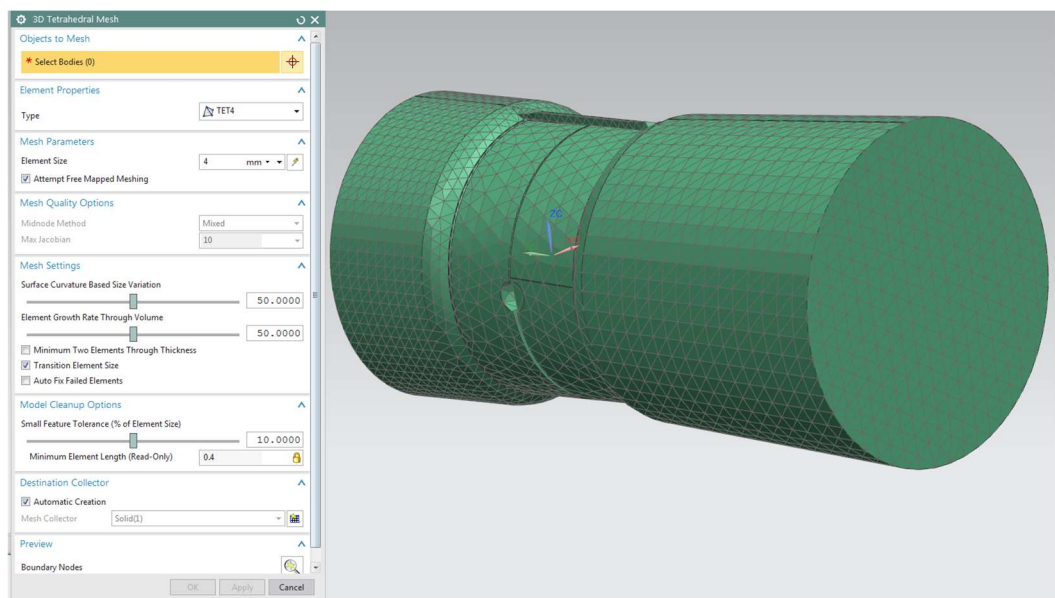
5.5 Kaasuläppä

Kaasuläpän simuloinnissa oli tavoitteena tutkia simulointien tulosten eroja eri kaasuläpän perhosventtiilin asennoilla. Asennot olivat täysin auki eli venttiili 90 asteen kulmassa, venttiili 45 asteen kulmassa sekä venttiili 70 asteen kulmassa.

Ongelmia tuli vastaan saman tien yritettäessä saada kaasuläpästä virtausvolyymiä delete face- ja all but selected -komennoilla. Ongelma johtui kaasuläpän alkuperäisten mallien huonoista raja-pinnoista sekä kahdesta erillisestä kaasuläpän osasta, eli itse rungosta ja perhosventtiilistä, jotka oli Solid Edgessä yhdistetty toisiinsa assembly-tilassa eli erillisten osien kokoonpanotilassa. Nämä ongelmat ratkaistiin yksinkertaistamalla lopullisia malleja sekä yhdistämällä osat Unite-komennolla idealisoidussa osassa NX:n Modeling-tilassa. Kaasuläppä täysin auki -mallia jouduttiin myös erikseen muokkaamaan, koska tässä Unite-komento ei

toiminut. Tämä johtui siitä, että NX ei löytänyt yhdistävää rajapintaa kahdelle eri osalle. Tämä ratkaistiin suurentamalla perhosventtiilin akselia 0,20 mm, jolloin akseli meni rungon ”sisälle”.

Kaasuläpän mallien simuloinnissa käytettiin samoja hyväksi havaittuja tulostavaihtoehtoja, verkotuskokoa sekä raja-arvoja kuin imusarjan malleissakin. Eli verkotuksen koko oli 4 mm ja käytetty elementtiverkko 3D Tetrahedral ja tämän tyyppi TET4. Raja-arvot olivat virtausnopeus 15 m/s Outlet flow -raja-arvolla kaasuläpän ulostulossa ja ympäröivä ilmanpaine eli 1 bar Opening raja-arvolla kaasuläpän sisääntulossa. Näiden kolmen mallin tuloksia esitellään tämän työn osiossa 6.2.



Kuvio 11. TET4-elementtiverkko.

6 SIMULOINTIEN TULOKSET SEKÄ HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

6.1 Imusarjan simulointien tulokset

Imusarjan simulaatiotuloksista tarkastellaan tarkemmin virtausnopeuksia, staattisia paineita sekä tiheyksiä. Imusarjan simulointia ei voi pitää täysin onnistuneena edellä mainittujen raja-arvojen pienen epärealistisuuden vuoksi. Tulokset olisivat todenmukaisempia, jos raja-arvoiksi olisi saatu ajan ja paineen funktio, jolla olisi simuloitu venttiilien aukeamisia ja sulketumisia. Myös 3D-malli imusarjasta ei ole paras mahdollinen. Näiden syiden vuoksi tuloksia tulee tarkastella kriittisesti virheiden mahdollisuuden vuoksi. Taulukko 1:n tarkastelupisteiden kohdat imusarjassa näkyvät kuviossa 12.

Taulukko 1. Imusarjan mallien tulokset.

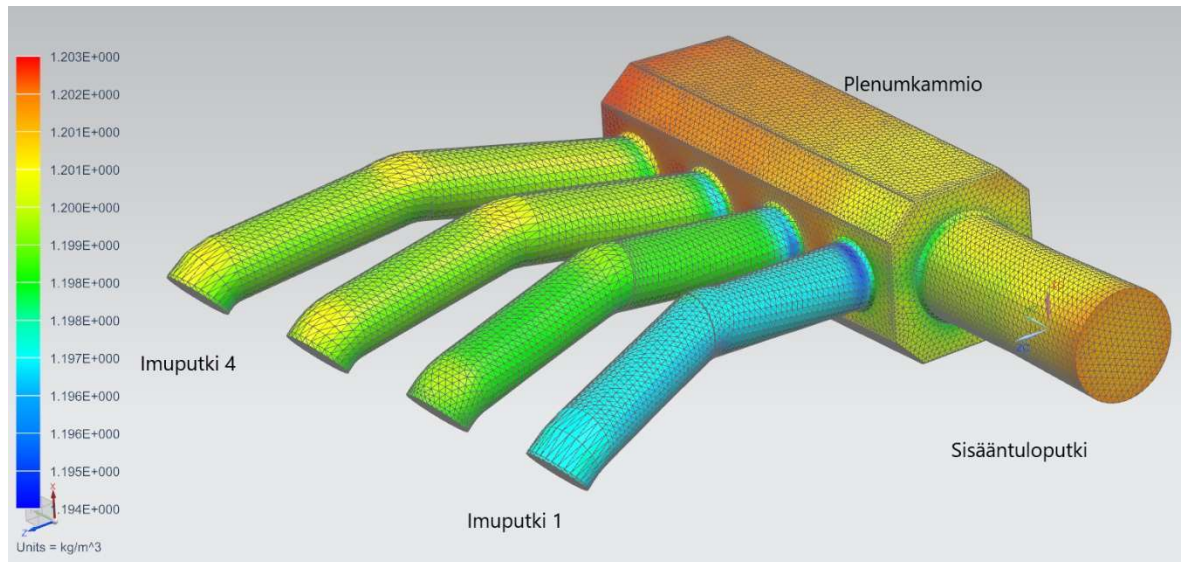
Tulos	Tuloksen tarkastelupiste	Alkuperäinen malli	Suorat imuputket	Lyhyet imuputket
Virtausnopeudet m/s	Sisääntuloputken alkupää	21,69	21,71	21,75
	Sisääntuloputken loppupää	26,57	26,87	26,83
	Imuputki 1 alkupää	12,35	12,89	16,23
	Imuputki 4 alkupää	14,26	14,25	15,15
	Plenumkammion takaseinä	3,37	3,43	3,64
Tiheydet kg/m ³	Sisääntuloputken alkupää	1,201	1,201	1,201
	Sisääntuloputken loppupää	1,200	1,199	1,199
	Imuputki 1 loppupää	1,197	1,198	1,198
	Imuputki 4 loppupää	1,199	1,200	1,200
	Plenumkammion takaseinä	1,202	1,203	1,203
Staattiset paineet bar	Sisääntuloputken alkupää	-0,003	-0,003	-0,003
	Sisääntuloputken loppupää	-0,004	-0,004	-0,004
	Imuputki 1 loppupää	-0,006	-0,005	-0,005
	Imuputki 4 loppupää	-0,004	-0,004	-0,004
	Plenumkammion takaseinä	-0,002	-0,002	-0,002

Tarkastellaan aluksi mallien eroja (Taulukko 1.). 5 tarkastellun pisteen tuloksissa ei suuresti ole eroa eri mallien välillä. Ainoastaan imuputkien muuttaminen lyhyemmiksi teki huomattavampia eroja tuloksiin ja tässä tapauksessa pääasiassa virtausnopeuksiin imuputkissa. Imuputkien muuttaminen olisi tehnyt huomattavampia muutoksia, jos imusarja oltaisiin saatu simuloitua realistisemmilla raja-arvoilla. Imuputkien pituus vaikuttaa moottorin käyttöominaisuuksiin. Lyhyet ja läpimitaltaan paksut imuputket parantavat moottorin huipputehoa suurilla kierrosluvuilla. Pitkät ja läpimitaltaan ohuet imuputket taasen parantavat käyntiominaisuuksia pienillä kierrosluvuilla. (Bell 2007, 2.15.)

Pelkästään yhtä mallia tarkasteltaessa huomataan huomattavia eroja imuputki 1:n tuloksissa verrattuna muuhun imusarjan rakenteeseen (kuvio 12.). Tässä tapauksessa ilma ei jakaudu tasaisesti kaikkiin imuputkiin, mikä aiheuttaa pienemmän paineen ensimmäisessä imuputkessa. On suhteellisen yleistä, että ensimmäinen imuputki saa noin 3-5 % vähemmän ja viimeinen imuputki 5-7 % enemmän ilmaa kuin muut, varsinkin huippuviritteisissä moottoreissa. Tämä ei tietenkään ole optimaalinen tilanne, jolloin esimerkiksi sytytystä joudutaan säätämään huonoimmin hengittävän sylinterin mukaan, jos sylintereiden yksilölliseen säätöön ei ole mahdollisuuksia. (Bell 2007, 2.14-2.15.) Tässä simuloinnissa tämä voi johtua myös 3D-mallin heikkoudesta.

Kolme eri tuloslukemaa eli virtausnopeudet, tiheydet ja staattiset paineet ovat yhteydessä toisiinsa Bernoullin yhtälön kautta, joka on kaava 1. Taulukossa näkyvät lukemat eivät ole kuitenkaan täsmälleen samasta kohdasta otettuja, joten laskukaavaa käyttämällä ei pystytä täysin tarkasti todentamaan yhteyttä tässä tapauksessa.

Taulukossa staattiset paineet pääasiassa merkitsevät painehäviöitä virtausvastusten vuoksi. Ilman tiheys on myös riippuvainen ilman paineesta, jolloin virtausvastusten aiheuttaman paineen tippumisen myötä myös ilman tiheys pienenee, kuten myös taulukosta voi päätellä, jolloin moottoriin saadun ilman määrä pienenee ja moottorin teho heikkenee. (Bell 2007, 1.4-1.5.)



Kuvio 12. Alkuperäisen mallin tiheydet sekä nimitykset osille.

6.2 Kaasulämpän simulointien tulokset

Kaasulämpän simulointien tuloksista esitellään tarkemmin virtausnopeuksia, tiheyksiä sekä paineita. Nämä simuloinnit onnistuivat paremmin kuin imusarjan, todennäköisesti paremman 3D-mallin vuoksi, tosin tätä mallia jouduttiin muokkaamaan yksinkertaisemmaksi alkuperäisen mallin vikojen vuoksi. Mallin muokkauksen ei pitäisi vaikuttaa tuloksiin, sillä mallin sisäpintoja ei juurikaan muokattu. Myös raja-arvot, vaikka olivatkin samat kuin imusarjassa, sopivat paremmin kaasuläppään. Kuitenkin näitäkin tuloksia tulisi tarkastella suhteellisen kriittisesti, sillä mahdollisuus virheisiin on olemassa.

Taulukko 2. Kaasulämpän mallien tulokset.

Tulos	Tuloksen tarkastelupiste	Venttiili 90° auki	Venttiili 70° auki	Venttiili 45° auki
Virtausnopeudet m/s	Maksimivirtausnopeus	23,13	33,67	59,78
Tiheydet kg/m³	Venttiilin edessä	x	1,2049	1,2049
	Venttiilin takana	x	1,1940	1,1940
	Akselin sivuilla venttiili täysin auki	1,1999	x	x
	Sisääntulo	1,204	1,204	1,204
	Ulostulo	1,202	1,199	1,178
Staattiset paineet bar	Venttiilin edessä	x	-0,0008	-0,0005
	Venttiilin takana	x	-0,0080	-0,0270
	Sisääntulo	-0,0008	-0,0008	-0,0008
	Ulostulo	-0,0020	-0,0050	-0,0220

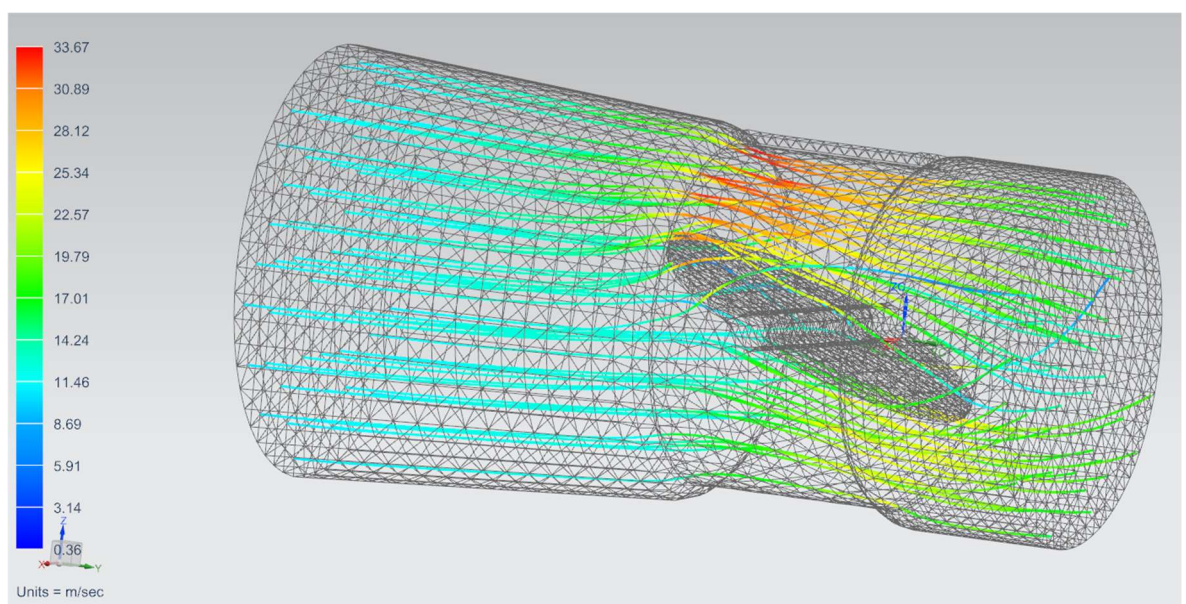
Selitetään aluksi tarkastelupisteet taulukosta 2. Venttiilin etupuoli on kaasulämpän sisääntulon puolella kaasulämpän ollessa osittain auki ja takapuoli vastaavasti ulostulon puolella. Venttiilin 90 asteen eli täysin aukioloa varten on asetettu oma

tarkastelupiste eli akselin sivuilla venttiili täysin auki. Tätä ei luonnollisesti ole tarkasteltu muilla aukiolokulmilla ja venttiilin edessä ja venttiilin takana tarkastelupisteitä ei myöskään luonnollisesti voitu tarkastella venttiilin ollessa 90 asteen kulmassa. Maksimivirtausnopeus kertoo suurimman virtausnopeuden venttiilin kohdalla. Muut tulokset ovatkin yksiselitteisiä.

Tarkastellaan maksimivirtausnopeutta eri venttiilin kulmilla. Mitä enemmän venttiili on kiinni, sitä suurempi kuristus eli kapea kohta syntyy venttiilin reunan ja kaasuläpän seinämän välille, kuten kuvioista 13 voi huomata. Tällöin jatkuvuusyhtälön periaatteiden mukaan virtausnopeuden täytyy kasvaa, jotta massavirta pysyisi samana. Lisää jatkuvuusyhtälöstä tämän opinnäytetyön osiossa 3.3.

Kuten todettiin imusarjan tuloksia tarkasteltaessa, tulokset ovat yhteydessä toisiinsa Bernoullin lain ja yhtälön kautta. Myös tässä tapauksessa tarkasteltavat pisteet eivät ole täsmälleen samoja eri tuloksissa, jolloin kaavalla ei voida todentaa täysin tarkasti tuloksia.

Tiheydestä ja staattisista paineista voidaan huomata, että perhosventtiilin ollessa 90 asteen kulmassa eli täysin auki virtausvastushäviöt ovat pienimmät ja tällöin paineen ja tiheyden aleneminen on pienimmillään. Tällöin myös moottorin täytös on parhaimmillaan.



Kuvio 13. Kaasuläpän virtausnopeudet venttiili 45 asteen kulmassa.

6.3 Simulointien hyödyntämismahdollisuudet

Simuloinnit tietokoneohjelmilla ovat suhteellisen uusi käsite tietokoneiden laskentatehon koko ajan kasvaessa suuremmaksi mahdollistaen näin yksityiskohtaisemmat virtauslaskelmat. Useat OEM-valmistajat ovatkin siirtyneet virtauspenkeistä käyttämään CFD-ohjelmistoja pienentääkseen virtausten kehittämiseen käytettyä aikaa. Monet pysyttelevät kuitenkin vieläkin virtauspenkeissä CFD-ohjelmistojen kalliin hinnan vuoksi. (Bettes 2010, 44-45.)

Hyödyntämismahdollisuuksia näille simuloinneille on monia. Ensimmäisenä ja kenties tärkeimpänä on uusien osien suunnittelu. Virtaussimulaatioiden avulla voidaan helposti suunnitella esimerkiksi mahdollisimman optimaalinen muotoilu imuilman virtausosille, kuten tässä työssä käytetylle imusarjalle. Tällöin esimerkiksi tutkittaisiin virtausvastuksia, jotka ilmenevät alipaineena ja näin ollen tiheyden tippumisena, mikä taas heikentää moottorin tehoa. Tästä voidaan päätellä, että virtaussimulaatioista on hyötyä myös moottorin virittäjille heidän yrittäessään maksimoida moottorin tehoa. Maksimoidakseen moottorin tehon heidän tulee poistaa kaikki mahdolliset ilmanvastukset imuilman ja myös pakokaasun virtauksista. (Bell 2007, 2.1-2.16.)

Virtaussimulaatioiden käyttöä voisi harkita myös autotekniikan opiskelijoiden opetuskäytössä. Virtaussimulaatioiden avulla voisi esimerkiksi demonstroida moottorin osien toimintaa moottoritekniikan kursseilla. Jo yksinkertainen simulaatio opiskelijan itse tekemänä ohjeiden avulla vaikkapa kaasuläpästä voisi lisätä oppilaan mielenkiintoa moottoritekniikkaan. Pelkkä teorian lukeminen voi puuduttaa innokkaimmankin oppilaan. Oikein oivallinen kohde opetuskäytössä olisi moottorin virittäminen -kurssi. Tällöin voitaisiin tutkia ilman ja pakokaasujen virtausten optimointia moottoritehon nostamiseksi. Otettaisiin esimerkiksi yksi vakio imusarja tutkittavaksi ja parannettaisiin tämän ilmanvirtausta. Tähän voisi lisätä myös Thermal- eli lämpösimulaatioita, sillä myös lämpötila on olennainen tekijä ilman tiheydessä. Virtaussimulaatiot ovat kuitenkin sen verran haastavia, että pelkästään moottoritekniikan kursseilla näitä ei voi oppia tarpeeksi laajasti. Tällöin tulisi olla yksi

tai useampi kurssi esimerkiksi NX:n käytöstä simulointeihin. Tämäkin voisi lisätä oppilaan mielenkiintoa oppimaansa kohtaan, kun hän voisi käyttää oppimaansa NX-taitoa soveltavasti moottoritekniikan tutkimisessa. Tässä tulee tietenkin vastaan ajankäytöllinen ja tärkeysjärjestysongelma, eli olisivatko virtaussimulaatiot tarpeeksi oleellinen opintokokonaisuus koulutusohjelmaa ajatellen. Tätä voisi kuitenkin harkita ja tutkia simulaatioiden yleisyyden koko ajan kasvaessa tietokoneiden laskentakapasiteetin tasaisen kasvun myötä. Toisaalta täysin polttomoottorikäyttöinen auto on katoamassa muutaman kymmenen vuoden kuluessa tehden tilaa hybrideille ja sähköautoille, jolloin polttomoottorin tutkiminen virtaussimulaatioilla ei ole enää yhtä olennaista kuin tänä päivänä. Toisaalta virtaussimulaatioille on muitakin käyttökohteita, kuten autojen aerodynamiikka.

7 KÄYTTÖOHJEEN LAATIMINEN

7.1 Minkälainen on hyvä ohje?

Käyttöohjeen avulla lukijaa ohjataan tuotteen turvalliseen, taloudelliseen sekä miellyttävään käyttöön. Hyvän käyttöohjeen avulla lukija myös oppii ymmärtämään tuotteen toimintaperiaatteen, jolloin lukijalle tulee valmiuksia toimia tilanteissa, joista ohje ei mainitse lainkaan. (Nykänen 2002, 50.) Käyttöohjeita tarvitaan niin laitteiden käyttöönotossa, turvallisuuden parantamisessa kuin työhönopastuksessakin. Käyttökohteita ohjeille on monia ja käyttöohjeen laatijan tulisi olla perillä tietyistä vaatimuksista hyvälle ja ymmärrettävälle käyttöohjeelle. Tärkeimpinä vaatimuksina on ohjeiden selkeys ja täsmällisyys. Asia tulisi esittää mahdollisimman yksinkertaisesti ja täsmällisesti, mutta samalla lukijan mielenkiintoa ja motivaatiota ylläpitäen. Ohjeen laatimiseen on jokaiselle vaiheelle perustavanlaatuisia ohjeita, joiden avulla saavutetaan laadukas käyttöohje. Eli niin sanotusti ohjeita ohjeiden tekemiseen. (Kauppinen, Nummi & Savola 2010, 134-135.)

Käyttöohjeen laatimista aloittaessa tulisi selvittää ohjeen kohderyhmä, ohjeen tarkoitus sekä ohjeen käyttötilanne. Luonnollisesti ohjeen laatijan tulee ymmärtää laitteen/asian toiminta, jota varten ohje laaditaan. Aluksi ohjeeseen tulee laatia selkeä johdanto, joka tarjoaa informaatiota itse ohjeesta, muttei kuitenkaan tarpeettoman pitkästi. Johdannossa tulisi mm. selvittää, mitä ohjeen laatija olettaa käyttäjän tietävän ja osaavan, mitä ohje sisältää, opastaa ohjeen oikeaan ja tehokkaaseen käyttöön sekä johdannon tulisi houkutella ylipäänsä käyttäjä lukemaan kyseinen käyttöohje. Alkuun on myös hyvä kuvata käytettävä laitteisto sekä tarvittava osaamistaso. Olennaista ohjeissa onkin, että millä tavalla lukija saadaan ohjetta lukemaan. (Kauppinen, Nummi & Savola 2010, 135-137.)

Päästäessä ohjeen laatimisessa itse asiaan, eli vaiheittaiseen opastukseen tulisi myös huomioida useita tärkeitä asioita. Ensinnäkin käyttöohjeessa käytetyn kielen tulee olla yksiselitteistä ja selkeää. Ohjetta tehdessä tulee välttää kohderyhmälle outoja termejä ja sanoja tai ne on selitettävä ymmärrettävästi. (Nykänen 2002, 51.) Tarvittaessa tulee myös käyttää toistoa asian ymmärtämisen parantamiseksi, mutta vaiheet tulisi ymmärtää yhdellä lukemalla ja tehdä saman tien. Kuitenkin

informaatiota tulee olla riittävästi, jotta lukija itsenäisesti kykenee siirtymään aina seuraavaan vaiheeseen. Informaatiota ei saa missään nimessä olla myöskään liikaa, jolloin lukija saattaa helposti sekaantua ja joutua ymmälleen. Tärkeää on myös käyttää yhdestä asiasta aina samaa nimikettä, esimerkiksi joko osoitin tai kohdistin, ei molempia vuoron perään. Muita huomionarvoisia neuvoja ovat vaiheiden numeroinnit, toimintojen esittäminen ennen vaikutuksia, yhden ohjeen kerrallaan esittäminen ja tärkeiden sanojen korostaminen esimerkiksi kursivoinnilla tai lihavoinnilla. (Kauppinen, Nummi & Savola 2010, 134-139.)

Käyttöohjeiden tekstejä on hyvä tukea myös kuvilla. Näiden laadukkuuteen, kuten tekstiinkin on tosin kiinnitettävä huomiota. Ensinnäkin kuvien tulisi täydentää tekstin informaatiota ollen samalla ymmärrettävää. Kuvissa ei saisi olla liikaa informaatiota ja kuvat tulisi suunnitella niin, että lukijan huomio kiinnittyy haluttuihin tärkeisiin yksityiskohtiin kuvassa, ilman että näitä yksityiskohtia tarvitsee erikseen selittää ohjeessa. Tarpeen mukaan kuvia ja tekstiä tulee käyttää siten, että nämä tukevat toinen toistaan. Tämä parantaa käyttöohjeen ymmärrettävyyttä. Tekstin tulee olla kuvan vieressä, jos teksti tukee kuvan informaatiota. (SFS-EN 82079-1 2012, 66.) Kuvamateriaalia kuten valokuvia, periaatepiirroksia, ja käsipiirroksia voidaan käyttää kertomaan lukijalle esimerkiksi kuinka tulee toimia tietyssä tilanteessa, missä painikkeet, osat yms. tarvittavat asiat sijaitsevat ja mitä toivotaan tapahtuvan. (Kauppinen, Nummi & Savola 2010, 139.)

Vikatilanteita varten voidaan laatia ongelmaosio ohjeeseen. Tässä osiossa voidaan lukijalle kertoa, miten toimia vikatilanteissa tai kun asiat eivät etene odotetulla tavalla. Hyvä tapa esittää virhetilanteita on laatia taulukko, jossa esiintyy tyypillisimmät virhetilanteet sekä lyhyet korjausohjeet näihin tilanteisiin. (Kauppinen, Nummi & Savola 2010, 139.)

Lopuksi ohjeen laatijan täytyy testata ohje. Testausta ei voi suorittaa pelkästään ohjeen laatija, koska tällöin virheet jäävät helposti huomaamatta tuotteen ollessa hänelle liian tuttu. Testauksessa tulisikin käyttää kohderyhmään tai tähän rinnastettavaa henkilöä/henkilöitä. (Nykänen 2002, 51.)

7.2 Käyttöohjeen laatiminen virtaussimulaatioiden tekemiseen NX:llä

Tarkoituksena ohjeelle oli tarjota moottoritekniikan kurssien oppilaille mahdollisuus tutustua moottoritekniikan ilmanvirtausten simulointiin joko opastetusti luokassa tai omatoimisesti. Ohje tehdään kuitenkin niin, että jokainen voi ohjetta käyttää omatoimisesti. Seinäjoen ammattikorkeakoulussa ei juurikaan opeteta Siemens NX:n käyttöä, joten oletusarvoisesti ohjeen lukija ei osaa juurikaan käyttää NX:ää. Tätä silmällä pitäen ohjeesta tulee tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja helppolukuinen. Oletuksena kuitenkin on, että lukijalla on perustasoinen kokemus jostain CAD-sovelluksesta esimerkiksi SeAMKin tapauksessa Siemensin Solid Edgestä. Käyttöohje on vaihe vaiheelta luettava kokonaisuus ja sivumääräksi lopullisessa versiossa tuli 19. Lopuksi ohje testattiin kohderyhmään rinnastettavan henkilön avustuksella, jolloin ohjeesta löydettiin noin 10 kpl virheitä, joita ohjeen tekijä ei välttämättä olisi itse huomannut.

8 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia virtaussimulaatioita, pohtia näiden hyödyntämismahdollisuuksia sekä laatia käyttöohje virtaussimulointien tekemisestä Siemens NX:llä. Työ saavutti asetetut tavoitteet ja tuotoksena syntyi käyttöohje simuloinneille.

Vaikeuksia syntyi heti alussa NX:n käytön suhteen tämän ollessa täysin vieras työn laatijalle. Aikaa kuluikin merkittävässä määrin itse NX:n käytön opettelemiseen, sillä virtaussimulaatioita NX:llä eivät opettajatkaan Seinäjoen ammattikorkeakoulussa olleet juurikaan tehneet. Materiaali opetteluunkin oli vähäistä, ja jälkikäteen ajatellen opinnäytetyön tekijälle olisi ollut hyödyksi omata käyttötaitoa NX:stä helpottamaan työn tekoa. NX:n peruskäytön opetteluun jälkeenkin aikaa kului runsaasti NX:ssä kohdattujen ongelmien ratkaisuun. Pienikin ongelma saattoi viedä monta tuntia aikaa, ja ratkaisuja pohdittiin niin Googlen, Siemensin foorumin, kirjojen, NX-ohjeiden sekä opettajien kanssa. Ratkaisu usein olikin aivan yksinkertainen. Opinnäytetyön tekeminen kehittikin hyvin kirjoittajan ongelmanratkontaitoja.

Työtä voisi jatkojalostaa tekemällä vaativampia simulointeja. Näitä voisivat olla esimerkiksi imusarjan käyttäytymisen todenmukainen simulointi asettamalla raja-arvoksi alipaine ajan funktiona, jolla simuloitaisiin venttiilien aukeamista ja sulkeutumista. Tällöin voitaisiin paremmin tutkia esimerkiksi imuputkien eri pituuksien vaikutuseroja. Toinen simulointi voisi esimerkiksi olla sylinterinkannen toiminnan simulointi. Näiden simulointien onnistumiseen vaaditaankin jo syvällisempää käyttökokemusta Siemens NX:stä. Tällöin vaadittaisiinkin jo Siemens NX:n käytön laajempaa opetusta Tekniikan yksikössä tai työn tekijän tulisi käydä Siemens NX-kursseja läpi. Kuten mainittiin pohdittaessa hyödyntämismahdollisuuksia, voisi tulevaisuudessa olla olennaista miettiä virtaussimulaatioiden tärkeyttä koulutusohjelmaa ajatellen.

LÄHTEET

Bell, A. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suomentaja Esko Mauno. Helsinki: Alfamer Oy.

Bettes, H. 2010. Engine Airflow. New York: Penguin Group.

Cadillac Meter. Ei päiväystä. Piping Requirements For Flow Meter Installation. [Kuvio]. Cadillac Meter – Central Station Steam Company. [Viitattu 8.4.2017]. Saatavana: <http://cadillacmeter.com/piping-requirements-for-flowmeter-installation/>

Encyclopedia Britannica. Ei päiväystä. Pressure. [Kuvio]. Encyclopædia Britannica, Inc. [Viitattu 18.11.2017]. Saatavana: <https://www.britannica.com/science/pressure>

Harish, A. 10.2016. Finite Element Method — What Is It? FEM and FEA Explained. [Verkkajulkaisu]. SimScale. [Viitattu 11.10.2017]. Saatavana: <https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>

Ideal PLM. Ei päiväystä. NX CAD. [Verkkajulkaisu]. Ideal Product Data Oy. [Viitattu 7.10.2017]. Saatavana: <http://www.ideal.fi/fi/tuotteet/computer-aided-design/nx-cad/>

Ideal PLM. Ei päiväystä. NX CAE. [Verkkajulkaisu]. Ideal Product Data Oy. [Viitattu 7.10.2017]. Saatavana: <http://www.ideal.fi/fi/tuotteet/computer-aided-engineering/nx-cae/>

Kauppinen, A., Nummi, J. & Savola, T. 2010. Tekniikan viestintä. Helsinki: Edita.

Nykänen, O. 2002. Toimivaa tekstiä: opas tekniikasta kirjoittaville. Helsinki: Tekniikan Akateeminen liitto.

Peda.net. Ei päiväystä. Molekyylien väliset vuorovaikutukset. [Kuvio]. Peda.net. [Viitattu 18.11.2017]. Saatavana: <https://peda.net/kemi/kemin-lyseon-lukio/oppiaineet2/kemia/k1ijek/arksto-ke-1/o1k22/elektronit2/vuorovaikutukset/molekyylienväliset>

Rouse, M. 5.2014. Computational fluid dynamics (CFD). [Verkkajulkaisu]. TechTarget. [Viitattu 28.11.2017]. Saatavana: <http://whatis.techtarget.com/definition/computational-fluid-dynamics-CFD>

SFS-EN 82079-1. 2012. Käyttöohjeiden laatiminen, jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Osa 1: yleiset periaatteet ja yksityiskohtaiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Siemens. 7.5.2007. Siemens Closes Acquisition of UGS; Introduces Business as UGS PLM Software. [Verkkajulkaisu]. Siemens Aktiengesellschaft. [Viitattu 18.11.2017]. Saatavana: https://www.plm.automation.siemens.com/en/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=34092&ComponentTemplate=822

Suvanto, K. 2003. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita Prima Oy.

Tracy, D. 13.5.2013. How A Carburetor Works. [Verkkajulkaisu]. Gizmodo Media Group. [Viitattu 9.10.2017]. Saatavana: <https://jalopnik.com/how-a-carburetor-works-496394819>

Yares, E. 14.6.2012. Why Solid Edge matters, part 1: A little history. [Verkkajulkaisu]. WTWH Media LLC. [Viitattu 30.5.2017]. Saatavana: <http://www.3dcadworld.com/why-solid-edge-matters-part-1-a-little-history/>

Your Dictionary. 2013. Carburetor. [Kuvio]. The American Heritage Dictionary of the English Language. [Viitattu 8.4.2017]. Saatavana: <http://www.yourdictionary.com/carburetor>.

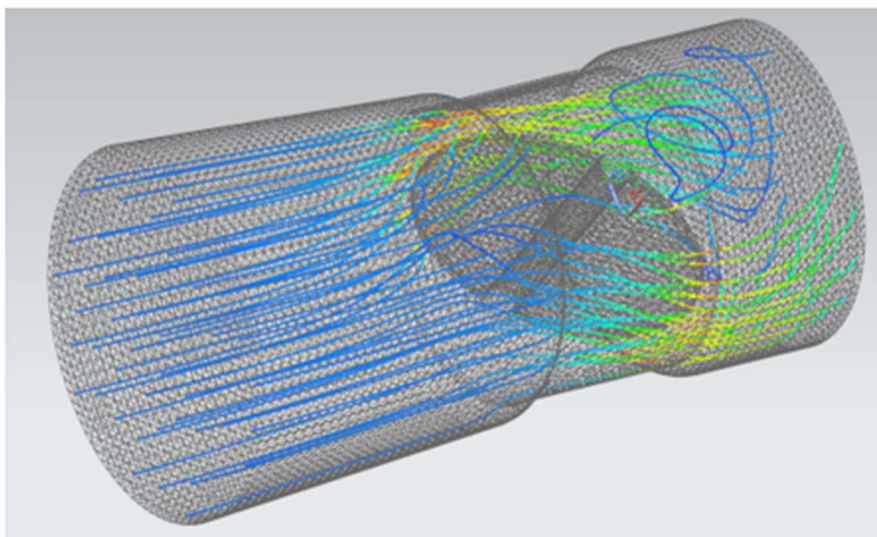
LIITTEET

Liite 1: Ohjeet virtaussimulointeihin



Kaasuläpän virtaus|simulaatio-ohjeet

Siemens NX 10



SISÄLTÖ

SISÄLTÖ	2
1 Käyttöohjeen tarkoitus ja vaaditut ohjelmistot ja taidot	3
2 Simulaation laatiminen ja ratkaiseminen	4
2.1 Aloittaminen ja tiedostojen luominen	4
2.2 Virtausvolyymien luominen	6
2.3 FEM -laskentaverkon luominen ja materiaalin valinta	10
2.4 Raja-arvojen asettaminen ja simulaation ratkaiseminen	13
2.5 Tulosten tarkastelu	16

1 Käyttöohjeen tarkoitus ja vaaditut ohjelmistot ja taidot

Tämän käyttöohjeen tarkoituksena on tutustua virtaussimulaatioihin Siemens NX:llä luomalla yksinkertainen simulaatio kaasuläpästä tai vaihtoehtoisesti itse tehdystä moottoritekniikan 3D-mallista. Tämän ohjeen läpikäytyään lukija osaa tehdä yksinkertaisen virtaussimulaation ja tarkastella tämän tuloksia virtausviivojen avulla.

Vaadittu ohjelmisto

- Siemens NX 10 tai uudempi versio.

Vaadittu osaaminen

- Kohtalaiset atk-aidot.
- Käyttökokemusta Siemens NX:stä ei tarvita, mutta kokemus esim. Solid Edgestä on avuksi.

Ohjeen lukeminen

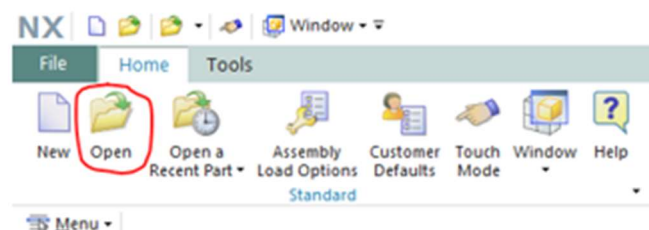
- Lue ohje järjestyksessä vaihe vaiheelta.
- Ohjeessa on ensin selostettu jokainen vaihe ja selostuksen alapuolella kuva tästä vaiheesta.
- Klikattavat toiminnot on kuvissa ympyröity punaisella tai muilla tavoin korostettu.
- Tallenna tiedostoja tasaisin väliajoin ja ongelmatilanteissa palaa takaisinpäin ja tee ongelmaosio uudestaan.

Huom. jos tuot oman mallin Solid Edgestä, tallenna tiedosto **STEP**. muotoon, muuten NX ei välttämättä suostu avaamaan mallia riippuen käytetystä ohjelmaversiosta.

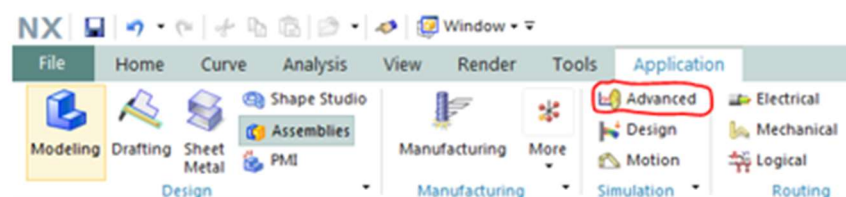
2 Simulaation laatiminen ja ratkaiseminen

2.1 Aloittaminen ja tiedostojen luominen

Aloita avaamalla Siemens NX ja valitse vasemmasta yläreunasta **Open** ja avaa **Kaasuläppä.prt** tiedosto tai vaihtoehtoisesti oma 3D-mallisi.



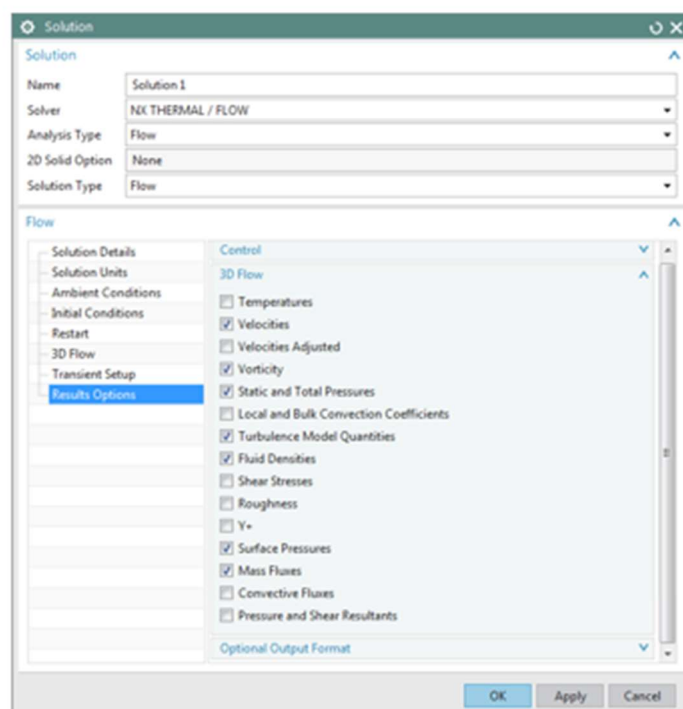
Avattuasi mallin, klikkaa **Application** välilehdeltä **Advanced** -toimintoa.



Avautuvasta työkalurivistä klikkaa **New FEM and Simulation** -toimintoa. Avautuneesta ikkunasta vaihda Solver Environment solveriksi eli ratkaisimeksi **NX Thermal/Flow** ja tämän analyysityypiksi **Flow**. Muita asetuksia ei tarvitse muuttaa ja voit jatkaa painamalla ikkunan alareunasta OK. Tämä luo tarvittavat tiedostot simulaatiota varten eli **idealised part**, **fem** ja **sim** tiedostot.

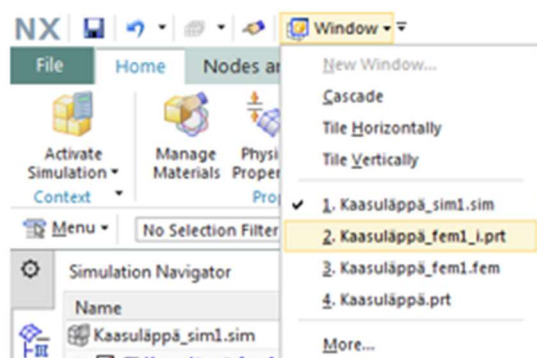


Seuraavaksi avautuneessa ikkunassa tulee valita ratkaisimeen asetukset. Ainoastaan tulosasetuksia tarvitsee muuttaa. Klikkaa **Results Options** ja tämän jälkeen avautuneesta valikosta **3D Flow** välilehdeltä varmista, että kuvassa näkyvät tulosvaihtoehdot ovat valittu. Jatka eteenpäin painamalla OK ja siirry seuraavaan ohjeen osioon.

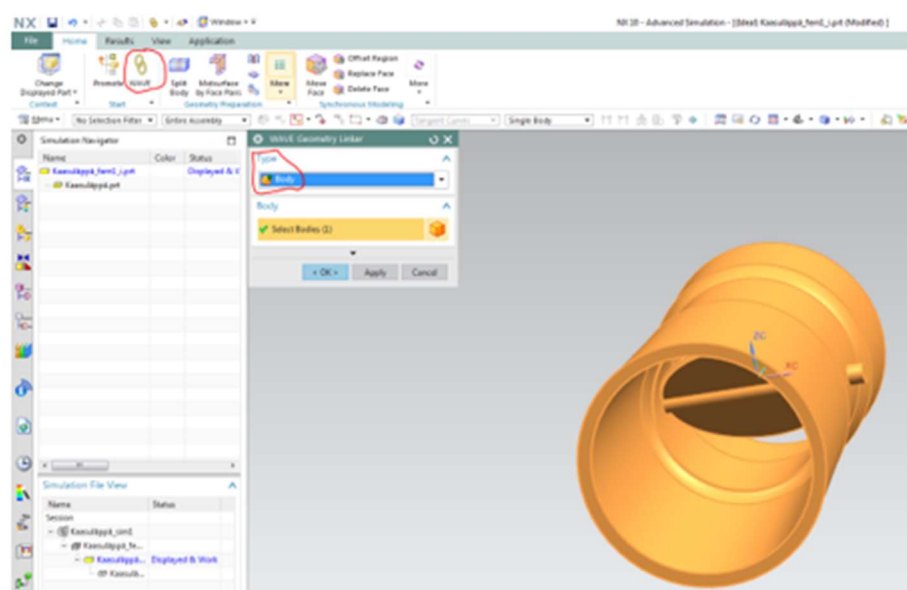


2.2 Virtausvolyymin luominen

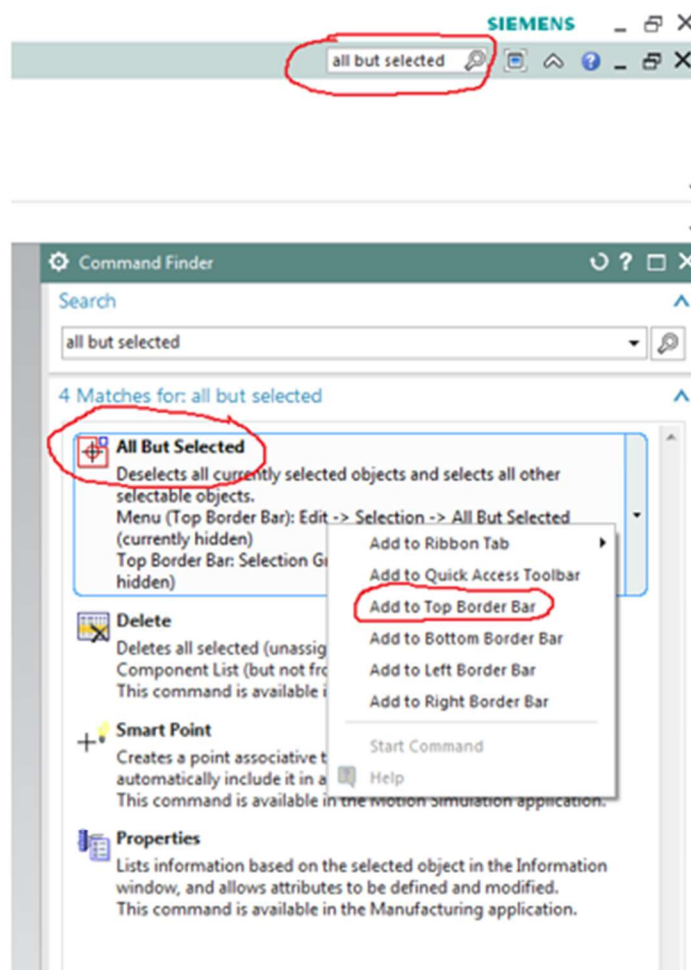
Virtausvolyymin luomiseen tarvitaan kuvaamaan simulaatiossa ilman tilavuutta mallin sisällä. Aloita siirtymällä **Idealized part** tiedostoon klikkaamalla **Window** -toimintoa NX:n yläreunasta ja avautuvasta valikosta **Kaasuläppä_fem1_i.prt** tiedostoa.



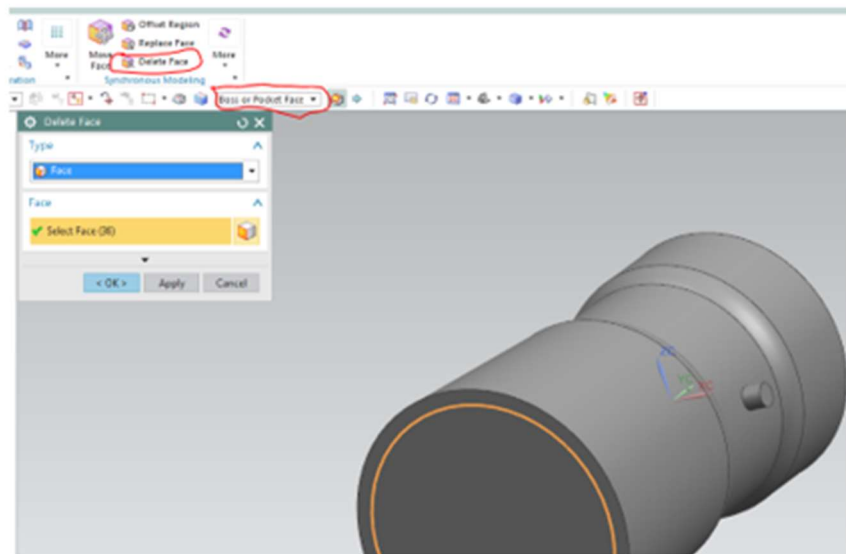
Tehdäksesi muutoksia malliin idealisoidussa osassa, täytyy malli ensin linkittää **Wave** -toiminnolla. Voit sulkea tästä kertovan ilmoituksen ja **Wave** -toiminto löytyy työkaluriviltä vasemmasta yläkulmasta. Klikattuasi toimintoa aukeaa valintaikkuna, josta valitse Type kohtaan **Body**, klikkaa 3D-mallia kaasuläpästä ja paina OK.



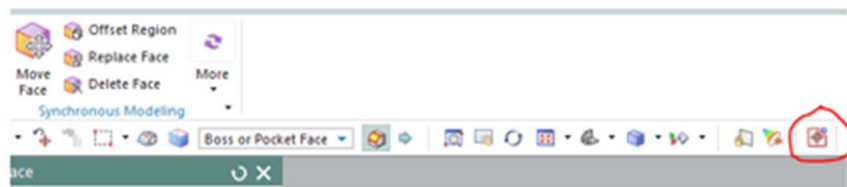
Tämän jälkeen voidaan luoda itse virtausvolyymi **delete face** ja **all but selected** -toiminnoilla. Aluksi **all but selected** -toiminto joudutaan lisäämään työkaluriville. NX:n oikeassa yläkulmassa on **Command finder**, johon kirjoita **all but selected** ja klikkaa suurennuslasin kuvaa. Avautuneesta ikkunasta klikkaa oikealla hiiren painikkeella **All but selected** -toimintoa ja klikkaa vasemmalla painikkeella **Add to Top Border Bar**. Tämän jälkeen **All but selected** -toiminto ilmaantuu työkaluriville, jonka käytöstä ohjeistetaan jälkepäin tässä käyttöohjeessa.



Tämän jälkeen klikkaa työkaluriviltä **Delete Face** -toimintoa. Tämän asetuksiin tulee muuttaa **Boss or Pocket faces**, jolloin toiminto valitsee kaikki sisäpinnat 3D-mallin sisältä. Asetus muutetaan työkaluriviltä alla olevan kuvan mukaisesti. Tämän jälkeen klikkaa mitä tahansa 3D-mallin sisällä olevaa pintaa ja edellä muutetun asetuksen mukaisesti toiminto valitsee kaikki sisäpinnat. **Älä paina vielä OK:ta.**

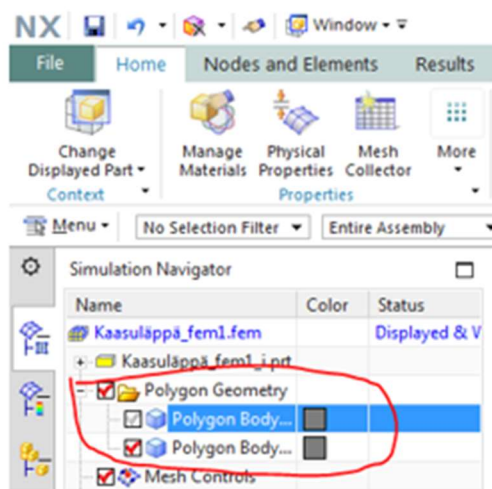


Tämän jälkeen paina lisättyä **All but selected** -toimintoa alla olevassa kuvassa näkyvästä sijainnista. Tämä valitsee poistettavaksi kaikki muut paitsi valitut pinnat ja näin on luotu virtausvolyymi ilman tilavuudesta mallin sisällä. Paina OK ja voit jatkaa seuraavaan osioon.

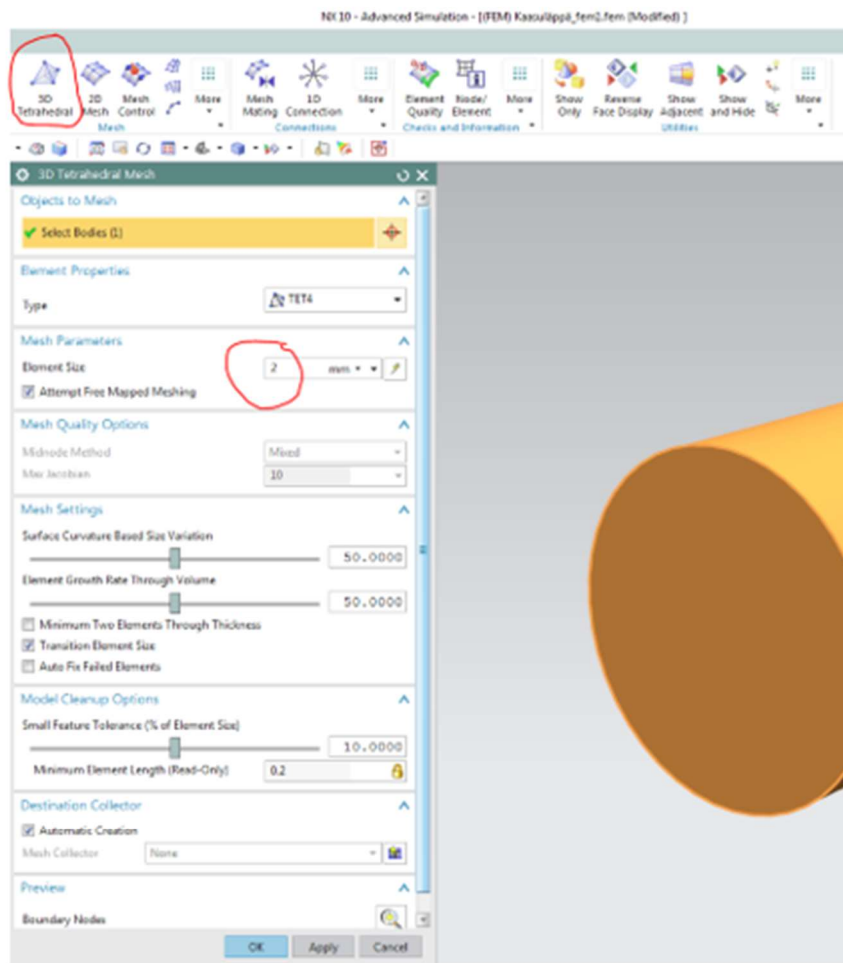


2.3 FEM -laskentaverkon luominen ja materiaalin valinta

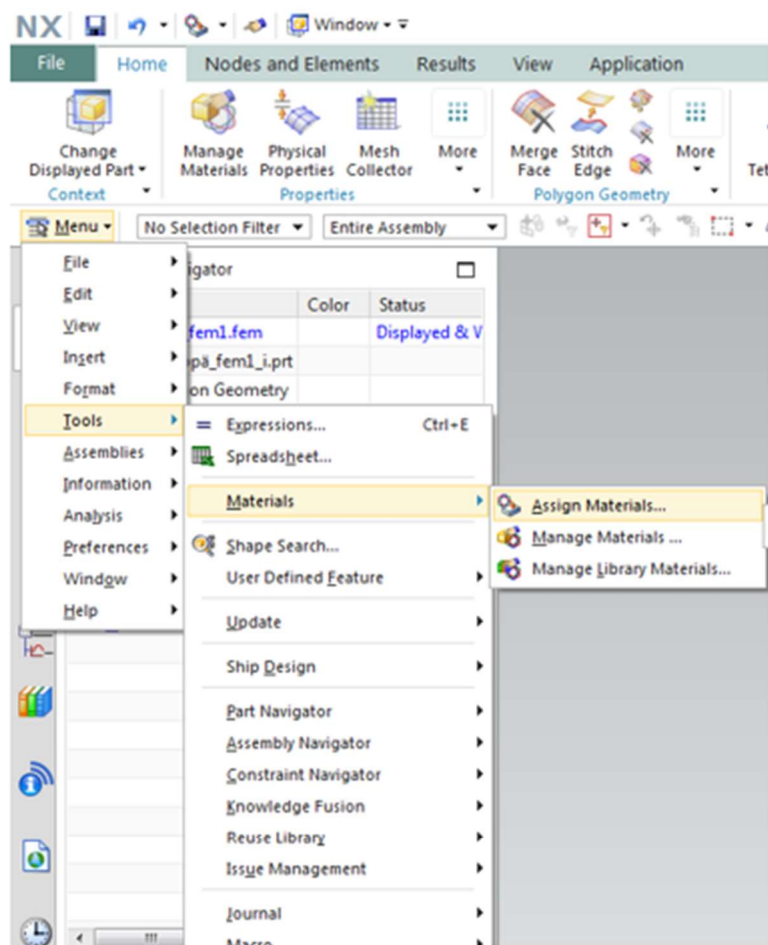
Seuraavaksi siirrytään fem tiedostoon samalla tavalla kuin siirryttiin idealisoitu osa tiedostoon eli yläreunan **Window** -toiminnolla. Tästä valitse tällä kertaa **Kaasuläppä_fem1.fem** tiedosto. Avattuasi fem -tiedoston voit helpottaa virtausvolyymin verkottamista poistamalla alkuperäisen mallin näkyvistä. Avaa vasemmasta navigaatiopaneelistä plus merkistä **Polygon Geometry** eli 3D-mallit. Tästä klikkaa ylemmästä mallista eli **polygon bodysta** punainen oikein -merkki harmaaksi, jolloin jäljelle jää vain 3D-virtausvolyyminmalli.



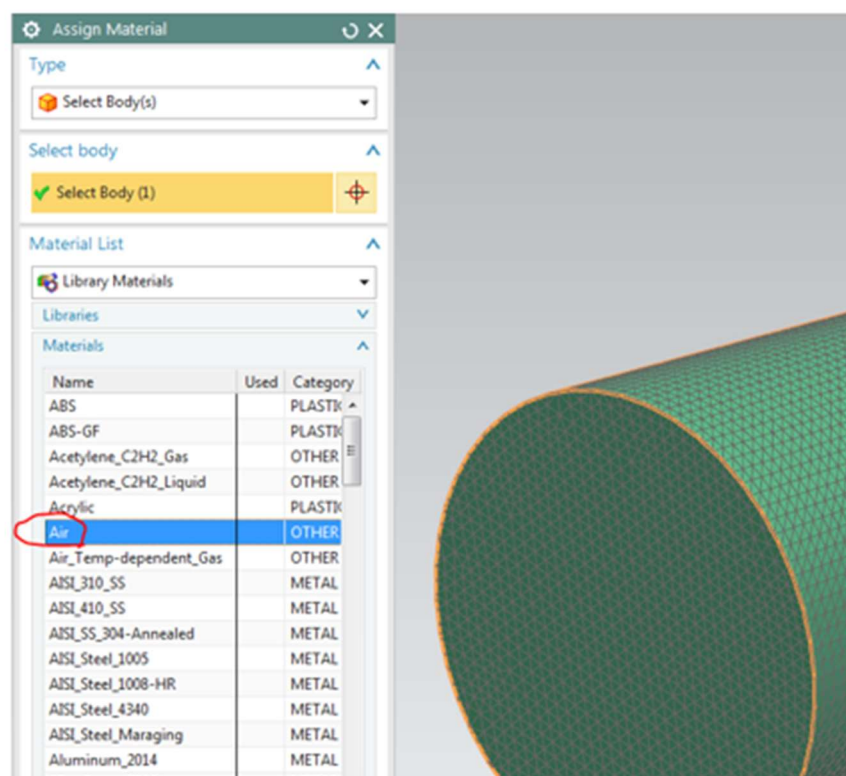
Seuraavaksi voidaankin verkottaa virtausvolyymin **FEM** -elementtilaskentaverkolla, jonka avulla NX laskee fysikaaliset ilmiöt simulaatiossa. Klikkaa työkalurivista **3D Tetrahedral** -toimintoa ja tämän jälkeen klikkaa luotua 3D-virtausvolyyminmallia. Avautuneesta ikkunasta muokkaa elementtien kooksi **2mm**. Suuremman koon voit asettaa, jos tietokoneesi alkaa hidastumaan, mutta tulokset saattavat muuttua epätarkemmiksi. Muita asetuksia ei tarvitse muokata ja voit jatkaa painamalla OK ikkunan alareunasta.



Verkotuksen jälkeen voit lisätä materiaalin virtausvolyyymille. Klikkaa vasemmasta reunasta auki **Menu** -valikko ja tästä valikosta klikkaa **Tools** -> **Materials** -> **Assign Materials**.

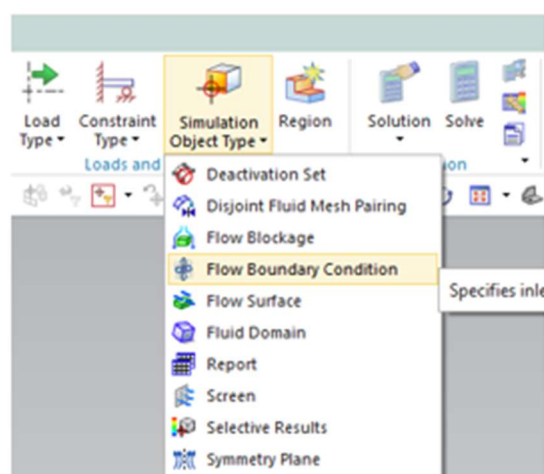


Avautuneesta valikosta valitse Air eli ilma, klikkaa 3D-virtausvolyyymimallia ja paina OK. Tämän jälkeen voit siirtyä ohjeen seuraavaan osioon.

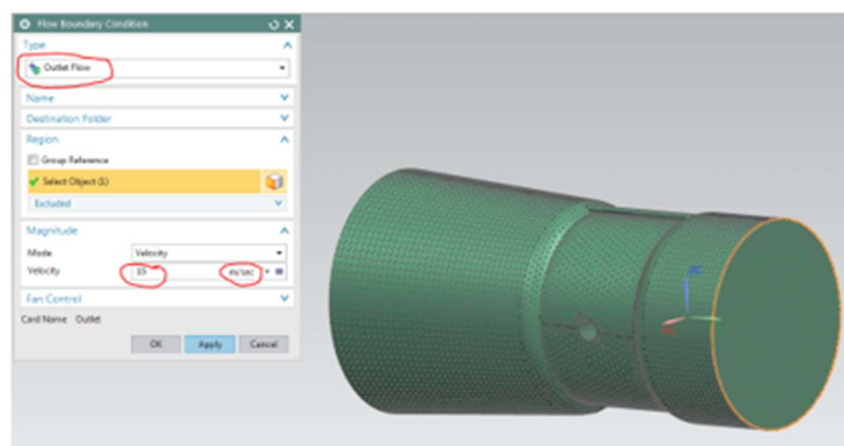


2.4 Raja-arvojen asettaminen ja simulaation ratkaiseminen

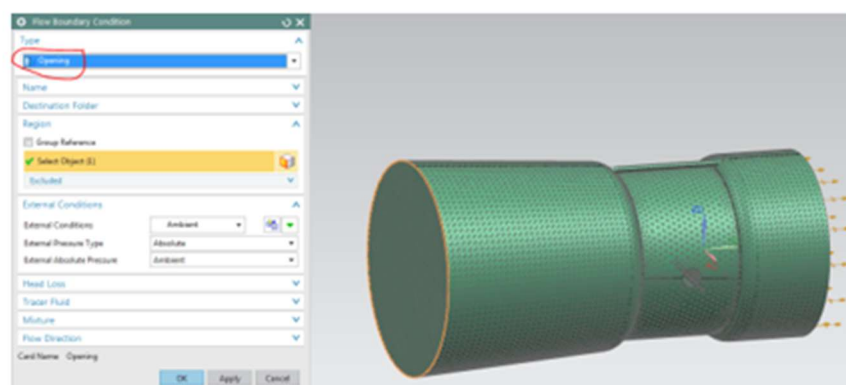
Jälleen siirry **Window** -toiminnolla seuraavaan tiedostoon eli tällä kertaa **Kaasulämpö_sim1.sim** simulaatitiedostoon. Aloitetaan valitsemalla raja-arvot simulaation ratkaisemista varten. Klikkaa työkalurivista **Simulation Object Type** -toimintoa ja tämän alavalikosta **Flow Boundary Condition** -toimintoa.



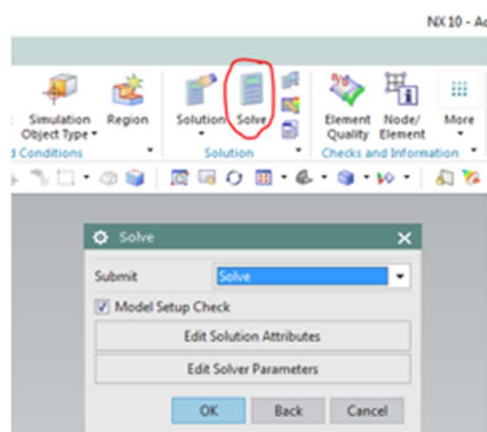
Avautuneesta ikkunasta valitse ensin Type kohdasta **Outlet Flow**. Magnitude kohtaan vaihda **Velocity** eli virtausnopeuden arvoksi **15** ja yksiköksi **m/sec**. Tämän jälkeen klikkaa kuvan mukaisesti kaasuläpän ulostuloa, joka on klikkauksen jälkeen ympyröity oranssilla värillä ja klikkaa Apply ikkunan alareunasta. Tämä raja-arvo aiheuttaa imevän virran kaasuläppään. 3D-mallia voi käänellä haluttuun asentoon pitämällä hiiren **scroll** -painiketta pohjassa ja liikuttamalla hiirtä.



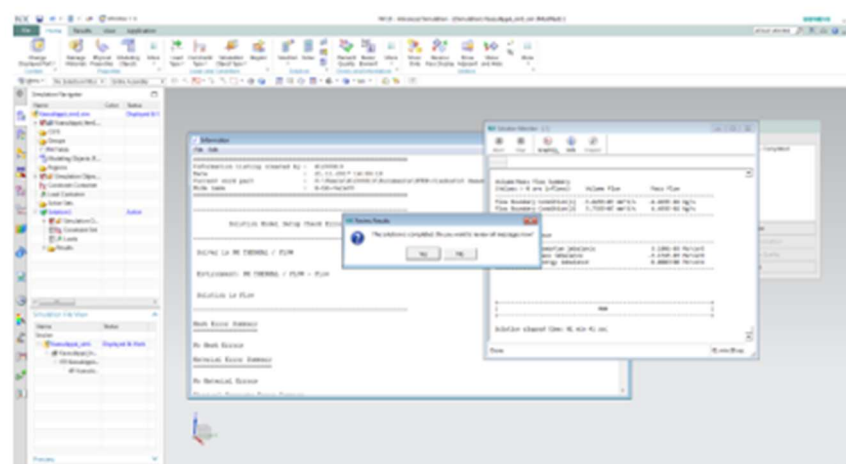
Applyn klikkauksen jälkeen ikkuna ei sulkeudu ja samasta valintaikkunasta voidaan asettaa kaasulämpöä toiseen päähän raja-arvoksi ympäröivä ilmanpaine eli 1bar. Type kohtaan valitse **Opening**, klikkaa kaasulämpöä sisääntuloa kuvan mukaisesti ja paina OK.



Nyt simulaatio voidaan ratkaista. Klikkaa **Solve** -toimintoa työkaluriviltä, jolloin avautuu valintaikkuna. Paina alareunasta OK, jolloin ratkaisin alkaa ratkaisemaan annettujen raja-arvojen mukaisesti mallia. Ratkaisemiseen kuluu tietokoneen laskentatehosta riippuen jonkin verran aikaa.

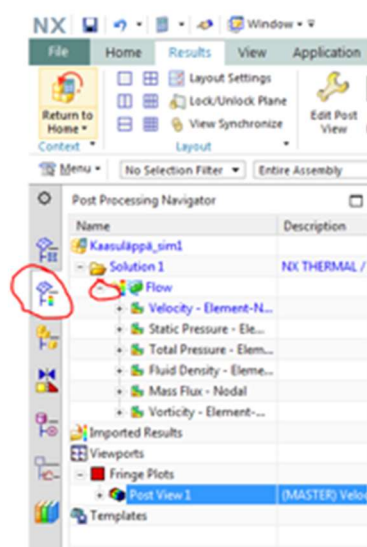


Ratkaisimen ratkaistua mallin tulee alla olevan kuvan mukainen ikkuna ruutuun, josta voit valita No. Tämä sulkeutuu tietyn ajan päästä myös itsestään. **Information** ikkunan voit sulkea oikean yläreunan ruksista ja **Analysis Job Monitor** ikkunan voit sulkea klikkaamalla tämän alareunasta Cancel. Simulaatio on näin ratkaistu ja voit siirtyä seuraavaan osioon, jossa tarkastellaan tuloksia.

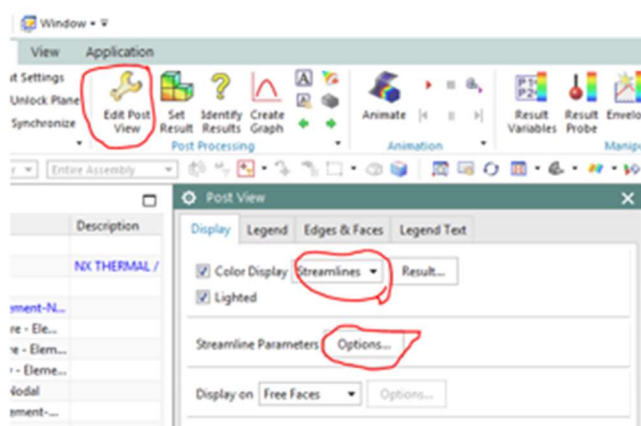


2.5 Tulosten tarkastelu

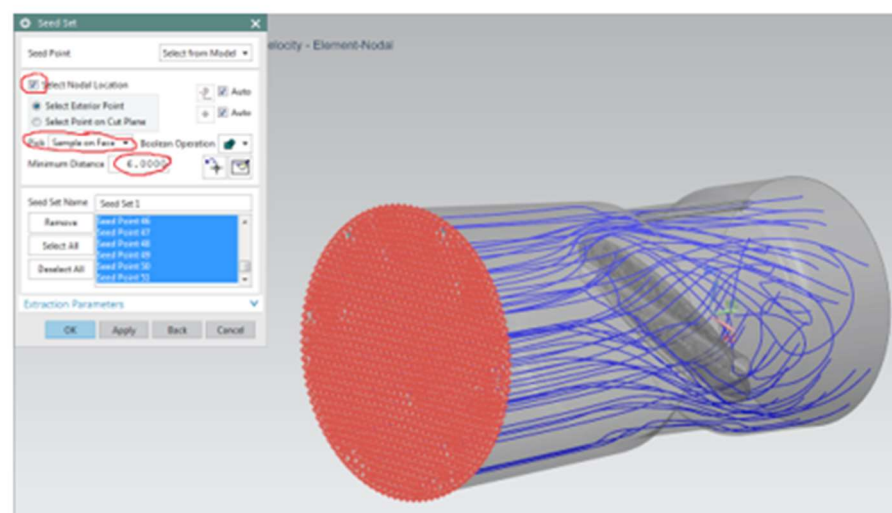
Tulokset saat näkyviin siirtymällä **Post Processing Navigator** -paneeliin klikkaamalla kuvan mukaisesti vasemmasta reunasta tämän kuvaketta. Tässä paneelissa tulokset saa näkyviin kaksoisklikkaamalla **Flow** -nimeä ja tämän jälkeen klikkaamalla plus -merkkiä tämän edestä. Eri tuloksia voit tarkastella tuplaklikkaamalla näiden nimikkeitä.



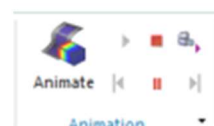
Tarkastellaan laajemmin **Velocity** eli virtausnopeutta. Kaksoisklikkaa **Velocity – Element-Nodal** yllä mainitusta tuloluettelosta jolloin virtausnopeuden tulokset tulevat näkyviin. Virtausnopeutta on hyvä tutkia virtausviivoilla eli Streamlineilla. Nämä saadaan valittua klikkaamalla työkalurivistä **Edit Post View** -toimintoa. Avautuneesta ikkunasta valitse Smoothin tilalle **Streamlines** ja klikkaa alapuolelta **Options** painiketta.



Tämän jälkeen avautuu Streamline Parameters ikkuna, josta klikkaa Create -painiketta. Avautuneessa Seed Set ikkunassa valitaan virtausviivojen aloituspaikat. Valitse **Select Nodal Location** ja Pick kohdasta valitse **Sample on Face**. Minimum Distancea vaihtamalla saadaan virtausviivojen etäisyyksiä toisistaan muuttamalla muutettua näiden lukumäärää. Valitaan tähän 6.0000 ja klikataan kuvan mukaisesti kaasuläpän sisääntuloa. Klikkaa OK kaikkiin avoinna oleviin ikkunoihin.

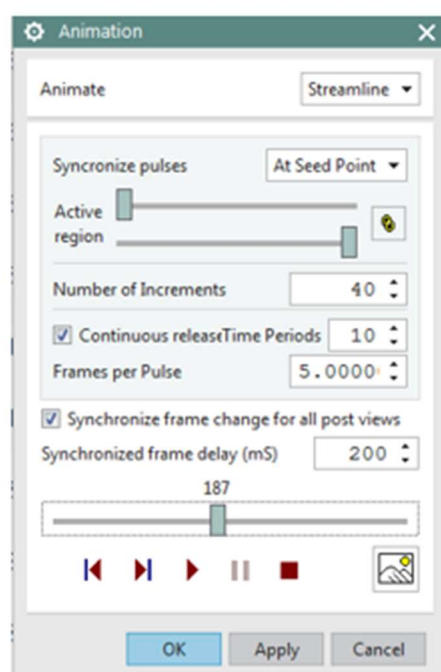


Virtausviivojen väristä voidaan tarkastella virtausten nopeutta eri kohdissa. Virtaukset voidaan animoida painamalla työkalurivistä **Play** -painiketta. Animaatio vastaavasti pysäytetään **Pause** tai **Stop** -painikkeella. Animaatiota voi muokata **Animate** -toimintoa painamalla.



Animaatioasetukset:

- Animaatioaluetta säädetään **Active region** liukusäätimillä
- Virtauspallojen määrää säädetään **Number of Increments** luvulla
- **Continuous release** -toiminnolla voidaan säätää vain yhden pallon kulkemaan jakson aikana mallin lävitse
- **Synchronized frame delay** -toiminnolla muutetaan animaation nopeutta



Virtausviivoilla voidaan tarkastella myös muita tuloksia, mutta näitä voi olla parempi tarkastella **Edit Post View** -valikosta esim. **Smooth** -vaihtoehdolla. Huom. vaihtaessa asetusta tulee animaation olla pysähdyksissä **Stop** -painikkeella.